土木試驗所報告

第二十九號

昭和九年　第四冊

矢板擁壁の控版に作用する力に關する試驗

瀝青纖目材試驗成績

南洋材カボール竝にターペンタインの物理的諸性質に關する試驗

道路鋪裝用瀝青乳劑の性狀に關する基本的研究（第 2 報）

阪神地方沿岸風水害調查報告

1934 — XII

内務省土木試驗所

土木試驗所報告

第二十九號

序　言

本報告は「矢板擁壁の控版に作用する力に關する試驗」「瀝青纖目材試驗成績」「南洋材カボール竝にターペンタインの物理的諸性質に關する試驗」「道路鋪裝用瀝青乳劑の性狀に關する基本的研究（第2報）」「阪神地方沿岸風水害調査報告」等を輯錄せるものである.

矢板擁壁の控版に作用する力に關する試驗　は控版の位置が擁壁に接近し，從來の計算法の適用出來ざるとき及其他二三の場合に於ても控版が支へ得る力は近似的に容易に算定し得る事を述べ，且つ試驗に依り其結果を確め斯る場合の擁壁設計に對する一資料を提供せんとしたものである.

瀝青纖目材試驗　は曩に發表せるエラスタイト試驗以後製出せられたるエラスタイト及其他の新製品瀝青纖目材に關する試驗成績を一括表示說明し，瀝青纖目材進步の經路を示し，之等に對する規格案を提示せるものである.

南洋材カボール竝にターペンタインの物理的諸性質に關する試驗　は南滿洲鐵道株式會社が其川崎埠頭工事に於て防舷材竝に防衝材として使用せんとせる上記木材に就て，當所の行ひたる比重，含水率，收縮率，引張壓縮曲げ剪斷の各種强度，硬度，彈性率等防舷竝に防衝材として必要なる諸性質に關する試驗結果を一括せるものである.

道路鋪裝用瀝青乳劑の性狀に關する基本的研究（第2報）　は主として粘性竝に骨材による瀝青乳劑の分解に就て研究したるものにして粘性に就ては瀝青乳劑の如き一般異常性粘性液體の力學的特性，特に回轉圓筒法竝に毛細管法に於ける異常性を理論的に考察し，回轉圓筒法による實驗値と比較し，速度傾度に對する影響の一部を明かにしたもので，又瀝青乳劑の分解に就ては瀝青乳劑の乳化狀態と其分解の過程に就て概說し，次て國產市販瀝青乳劑に就て，諸種の分解試驗を行ひ，其方法と結果とを比較し以て實際施工上の分解過程に就て一考察を爲せるものである.

阪神地方沿岸風水害調査報告　は昭和9年9月21日阪神地方を襲つた暴風津浪の被害狀況，就中港灣工作物に對する被害を記し，將來の防備施設に對する所見を添へたものである.

昭和九年十二月

內務省土木試驗所長　內務技師　物　部　長　穗

目　　次

矢板擁壁の控版に作用する力に關する試驗……1

内務技師　松　尾　春　雄

瀝青繊目材試驗成績……21

内務技師　西　川　榮　三
内務技手　松　本　　榮

南洋材カボール竝にターペンタインの物理的諸性質に關する試驗……27

内務技師　青　木　楠　男
石　川　利　雄

道路鋪裝用瀝青乳劑の性狀に關する基本的研究（第 2 報）……65

内務技師　島　田　八　郎
福　島　彌　六

阪神地方沿岸風水害調査報告……145

内務技師　松　尾　春　雄

矢板擁壁の控版に作用する力に關する試験

內務技師　松　尾　春　雄

梗　概

控版の位置が擁壁に割合に接近してある場合，又地表面より相當の深さにある場合に，控版が支へ得る力は極めて簡單に計算し得る事を述べ，試驗に依つて之を立證し，又控版が長さの方向に於て間隙を有する場合，間隙部が支へ得る力に就ての試驗結果をも述べ擁壁設計の資料を提供した．

目　次

I 緒　論 …… (1)
〔1〕 從來の計算法及その補正 …… (1)
〔2〕 控版の位置が擁壁に近い場合の計算法 …… (2)
II 模型試驗 …… (5)
〔3〕 設備及試驗方法 …… (5)
〔4〕 深い位置にある控版に作用する力の試驗 …… (7)
〔5〕 控版の間隔がその抵抗力に及ぼす影響の試驗 …… (10)
III 結　論 …… (19)

I 緒　論

矢板擁壁等の安定を保つ爲に擁壁より一定距離の後方に控版を置き控桿を以て兩者を連結し，控版の前面に働く抵抗土壓力を利用する事は最も普通に行はれてゐる工法であつて，殊に我邦に於ては相當の強さの地震に耐ふる爲に普通の重力擁壁に於てもこの助けを藉りなければならぬ樣な計算になるものが多い．然るに之に關する從來の計算法は區々であつて殊に我邦に普通に行はれてゐる考へ方は誤つてゐると思ふから之を指摘し尙正土壓崩壞面に接近して控版を置いた場合，版に働く力に關する極めて簡單な計算法を提案し之等を實驗に依り確めた處，著者の考へを裏書する結果を得た．

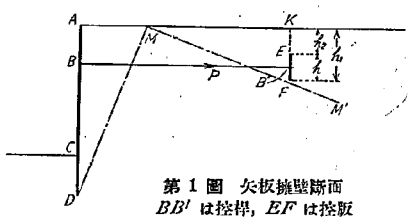
〔1〕 從來の計算法及その補正

最も簡單なる場合卽ち地表面水平，鉛直の控版，水平控桿を有する場合を採り第 1 圖に於て AD を矢板擁壁 EF を控版とし，EF が MM' 面より，上にある場合に控版 EF が支へ得る力 P は從來の普通の計算では次式で與へられる．[1]

$$P=\frac{1}{2}C_p'w(h_1^2-h_2^2)-\frac{1}{2}C_a'w(h_1^2-h_2^2) \quad \cdots(1)$$

茲に　C_p' は抵抗土壓係數（水平分力），

　　C_a' は正土壓係數（水平分力），



第 1 圖　矢板擁壁斷面
BB' は控桿，EF は控版

1) Brennecke-Lohmeyer: Der Grundbau Band II. 4 Auflage s. 90.
鈴木雅次博士：港工學 461 頁以下

w は土砂の單位重量,

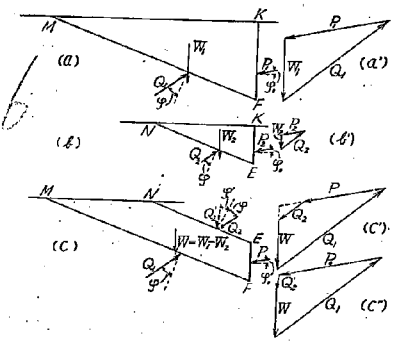
h_1 及 h_2 は夫々控版の下端及上端の地表面よりの深さ,

DM は壁面 AD の正土壓崩壞面,

MM' は控版 EF の抵抗土壓崩壞面に平行な M を通る面.

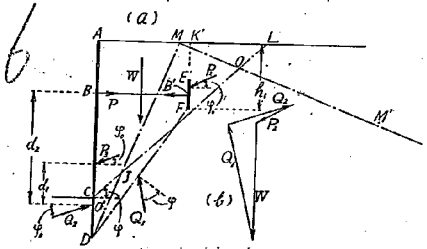
然るに (1) 式を書換へ　　$P=\frac{1}{2}wh_1^2(C_p'-C_a')-\frac{1}{2}wh_2^2(C_p'-C_a')$

の右邊第一項及第二項は夫々第1圖 KF 及 KE に作用する壓力であつて, 各項ともに此面に作用する抵抗土壓力と正土壓力との差であるが, 正土壓の影響は小であるから (抵抗土壓力係數は普通の場合正土壓係數に比し 10 倍以上大である) 抵抗土壓のみに就て考ふれば力の平衡狀態は第 2 圖 (a) 及 (b) に示す如くであつて結局控版 EF が働く場合の平衡狀態は (c) の如く $EFMN$ に働く四つの力 $W=W_1-W_2$, P, Q_1 及 Q_2 が平衡を保つ譯である. 此の場合抵抗土壓崩壞面の方向は控版が EF のみの場合も變化がないと假定する事は從來の計算法と同樣である. 然るに控版が動き出さんとする場合に EN 及 FM 面には之を妨げんとする力を生ずる筈である. 卽ち Q_1 が圖の方向に働く事は差支ないが EN 面には第2圖 (c) に點線にて示した Q_2' の如き方向をとる筈である. 從つて (1) 式の與へる P の値は實際よりも小となる. 卽ち第 2 圖 (c') の力の多角形は從來の計算法による値であるが, 實際には (c'') の力の多角形に示す如き値をとる筈であつて, EF が地表面より相當の深さにあり且つ EF の高さが F の深さと比して小なる場合には圖の (c'') の平衡狀態による P_0 は (c') の P よりも相當に大となる. Q_2' の方向は鉛直に近いから (c'') の P_0 は (a') の P_1 と殆ど同一となる. 卽ち EF に働く抵抗土壓は第 1 圖 (a) の KF に働く抵抗土壓と近似的に等しいとして差支ない, 卽ち



第 2 圖　控版 EF に働く力の平衡狀態

$$P=\frac{1}{2}C_p'wh_1^2-\frac{1}{2}C_a'wh_1^2\fallingdotseq\frac{1}{2}C_p'wh_1^2 \quad \cdots\cdots(1)'$$



第 3 圖　控版が壁に最も接近して置かれてある場合の力の平衡狀態

〔2〕 **控版の位置が擁壁に近い場合の計算法**

上記の計算値は控版 EF の下端 F が MM' 面 (第 3 圖) よりも上にある場合に限り適用出來るのであつて, F が之より下にあり且つ C を通る自然勾配面 CL より右方にある場合であつて第 3 圖に於て LOM' より右にある場合に限る. 控版がこれ以外の場所にある場合に對し獨逸に於て最も多く行はれる計算法は次の如くである.

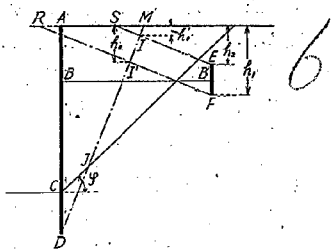
(1) 控版が JML 內にある場合[2]　第 3 圖

2) Krey: Erddruck, Erdwiderstand 3 Auflage 200 頁

に於て控版の下端 F' と擁壁下端とを結んだ $F'D$, F' を通る鉛直面 $F'K'$, 地表面 AK' 及壁面 AD に圍まれた土の部分の平衡狀態を考へ，この部分の土の重量 W と $K'F'$ 面に働く正土壓 P_2, $F'D$ 面に働く力 Q_1, CD に働く抵抗土壓力 Q_2 の平衡狀態は第 3 圖 (b) の如く作圖する事が出來る．P_2 及 W は算定する事が出來 Q_1 及 Q_2 はその方向が圖に示す如くであるから Q_2 を決定する事が出來る．Q_2 の作用點 O'' は反覆計算により定める事が出來るから控桿 BB' に働く力 P は，AD に働く正土壓を P_3 とすれば $P=\frac{d_1 P_3 \cos\varphi_0}{d_2}$ となる．

(2) 控版が $DJOM'$ 面より下方にある場合　從來の計算の中最も普通の方法は第 4 圖に於て F 及 E を通る抵抗土壓崩壞面 FR 及 ES が D を通る正土壓崩壞面 DM との交點を I' 及 I とすれば EF に働く最大抵抗水平土壓力 P' は，第 1 圖の場合の値を P とし EF の右側に働く正土壓を無視すれば

$$P'=P\times\frac{\text{面積 } EFI'I}{\text{面積 } EFRS}$$



第 4 圖　控版が壁に接近して置かれてある場合の力の平衡狀態

であつて，之を他の形で表はし尚正土壓の事を考慮に入れゝば

$$P'=\tfrac{1}{2}C_p'w(h_1^2-h_2^2)-\tfrac{1}{2}C_p'w(h_0^2-h_0'^2)-\tfrac{1}{2}C_a'w(h_1^2-h_2^2)$$
$$=\tfrac{1}{2}C_p'w(h_1^2-h_0^2)-\tfrac{1}{2}C_p'w(h_2^2-h_0'^2)-\tfrac{1}{2}C_a'w(h_1^2-h_2^2)$$

茲に h_0 及 h_0' は I 及 I' の地表面よりの深さである．

上記の計算値が實際に働き得る力よりも小である事は第 1 圖の場合に就て述べたと同樣の理由に依つて明らかである．

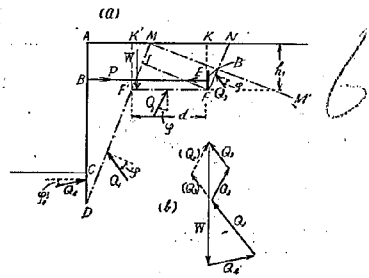
この場合に就て Krey 教授がその著書に示してゐる計算法[3] は上記よりは勝れてゐるものである．

卽ち　$$P'=\tfrac{1}{2}C_p'w(h_1^2-h_0^2)-\tfrac{1}{2}C_a'wh_1^2 \quad\cdots\cdots(3)$$

卽ち (2) 式の右邊第 2 項が無く且つ第 3 項の $h_2=0$ とした形であつて，(2) 式よりは實際に近い値を得る．

(3) 近似計算法の新提案　上記 (1) 及 (2) に述べた計算法による値は何れも實驗の結果と相當に異り且つ模型構造物の崩壞の狀態を注意して觀測するに前記の假定による狀態とは著しく異る．依つてこの觀測に依り定めた崩壞面より出發して次に示す如き新計算法に到達した．この計算法は極めて簡單であるが實驗の結果とは割合によく一致する．

新計算法は控版 EF (第 5 圖) が正土壓崩壞面 DM より右，抵抗土壓崩壞面 MM' より左にある場合には常に崩壞面として近似的に $DF'FN$ を採り之と地表面 AN 及壁背面 AD とに限られる斷面を有する土の部分を一體と考へ，之に



第 5 圖　新らしく提案した計算法に依る力の平衡狀態 (控版が壁に接近してて置かれてある場合)

3) 脚註 2) 204 頁

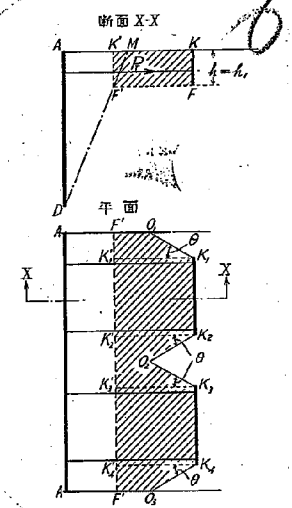
作用する力の平衡狀態を考へるのである．茲に F' は F より水平に引いた直線が控版のない場合の正土壓崩壞面 DM と交る點，FN は F を通る DM に平行なる直線，卽ち FK に作用する正土壓の崩壞面である．茲に深さに依る擁壁裏込土砂の變化は無いものとする．この場合土體 $ADF'FNA$ の重量 W は順次 CD に働く力 Q_1，DF'，$F'F$ 及 FN に働く夫々の力 Q_1，Q_2 及 Q_3 と平衡を保つべきである．之等の力の中 Q_1，Q_2 及 Q_3 は力の平衡が將に破れんとする場合に各夫等の面の垂線となす角は土の內部摩擦角 φ に等しい．Q_1 が AD となす角は壁と裏込土砂との摩擦角 φ_0' に等しい．卽ち第 5 圖 (b) に實線にて示す如き力の平衡狀態を保つ．然るに Q_1 と Q_3 との和は正土壓崩壞面 DM に作用する力に等しい．Q_2 及 Q_3 の代りに圖に點線で示した (Q_2) 及 (Q_3) をとる事が出來，結局控版の爲に生ずる抵抗力 Q_2 は $K'F'FK$ の重量を W_1 土の內部摩擦角を φ とすれば

$$Q_2 \cos\varphi = W_1$$

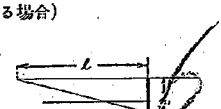
控桿 BB' に作用する力 P は　　$P = Q_2 \sin\varphi = W_1 \tan\varphi = wh_1 d \tan\varphi$

卽ちこの力は地表面より控版底面までの深さ及控版底面より之を通る水平線が正土壓崩壞面と交る點までの距離とに正比例する．茲に w は土の單位重量，d 及 h_1 は圖に示した通りである．

d が次第に大となつて D を通る正土壓崩壞面と F を通る抵抗土壓崩壞面との交點 M (第 1 圖) が地表面と一致する樣になれば控桿に働く力 P は本章 [1] に述べた計算法をとる事となるがそれ以下の d に對しては近似的に上記の計算法に從つて差支ない事が試驗の結果明らかとなつた．



第 6 圖　控版が連續版でない場合の新計算法 (控版の位置が壁に接近して置かれてある場合)



第 7 圖

(4) 連續版でない場合の近似計算法、以上述べたものは控版が斷面に直角の方向に連續してゐる場合であるが，之が連續でない場合の近似計算法は第 6 圖の如く版の上端が地表面と一致する場合若しくは之に近い場合に於て第 6 圖の平面圖に於て版の面 K_1K_2，K_3K_4 及此等に垂直なる K_1K_1' 等と θ なる角をなす鉛直面 K_1O_1，K_2O_2，K_3O_3，K_4O_3 及鉛直面 $F'F'$ に境され且つ水平面 FF' の上にある土の重量を W_1 とすれば (圖に於て斜線を施した部分の土の重量) 擁壁の延長 $A-A$ なる間にある控桿 (圖の場合には 4 本) に働く力の總和は $W_1 \tan\varphi$ にて與へられる．小型試驗結果に依る θ は第 34 圖に示す如き値をとる．

從來普通に行はれてゐる計算法によれば版の一端を通る斷面 (第 7 圖) に働く正土壓による抵抗を考へ，版の一端毎に

$$P = C_a' w l \frac{h_1^2}{3} \tan\varphi \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (5)$$

C_a' は正土壓係數 (水平分力)，l 及 h_1 は圖に示す通り，なる力が働くとしてゐるが，これは實驗の結果とは一致せず，上に述べた近似計算法が適當であるとの結論を得た．この二つの場合の實際の計算例と實驗値との比較に就ては第 II 章に述べる．

第 5 圖の如く版が地表面より相當の深さにあり且つ長手に連續で

ない場合に就ては θ の値は第 6 圖の場合に比して多少減く第 35 乃至 37 圖に示した如き値をとる．尙版が壁より十分遠方にある場合に於ても（第 1 圖の場合）連續版でない場合には版の兩端の土砂の抵抗に依り (5) 式よりは大なる抵抗力がある．（第 II 章〔5〕(3) 參照）

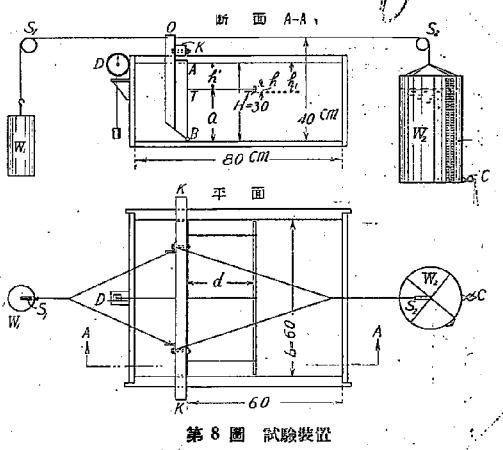
本試驗を略完了した時に獨逸の港灣協會年報 (Jahrbuch d. Hafenbautechnischen Gesellschaft 1930/31) に W. Buchholz 氏が Edwiderstand auf Ankerplatten なる標題の下に控版が擁壁より十分遠方にある場合に控桿の支持力に及ぼす版の間隙部分の影響（連續版でない場合）及同じ場合に深い位置にある版の支持力に就ての試驗結果が發表してある事を知つた．其處に取扱つてある問題は本試驗に於ても觸れてゐる處が多く同一の問題に就ては玆に得た結果と略一致してゐる．

II 模 型 試 驗

〔3〕 設備及試驗方法

概要　第 8 圖の試驗函一側に，底部蝶番の周りに自由に廻轉し且つ後方に控版を取付けた壁を鉛直に立て，裏込砂を函内に滿し壁の上部 O に壁前方及後方に別々に加へた張力の中，後方への張力を生ずる荷重 W_2 を連續的に徐々に減少し，荷重の減少に伴ふ壁上端の變位を觀測する．

試驗函　兩側が厚さ 1 cm のガラス板より成る内法寸法，幅 60 cm，高 30 cm，長 80 cm の木製函であつて，函底面に蝶番の周りに自由に回轉する木製壁 AB を取付ける．



第 8 圖　試驗裝置

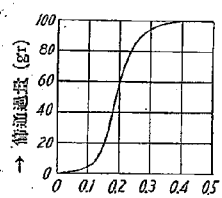
壁　幅 59.6 cm，高 30 cm，厚 5 cm の柾目檜板製（木目が水平方向になる様に使用）の壁に 2 本の山形鋼（斷面 40×40×4 mm）を兩端より約 10 cm の箇所に鉛直に取付け，山形鋼の壁上端より 10 cm の高さに徑 2 mm のワイヤー 4 本を固定し，各 2 本宛により壁の前後に荷重 W_1 及 W_2 及滑車 S_1 及 S_2 に依つて O に水平力を加へ得る．壁の上部に函に固定した横木 K-K を設け壁が鉛直の狀態にあり且つ W_2 が W_1 よりな大る場合にも壁が土砂に抵抗土壓を及ぼさない様にする．

荷重　W_1 は鉛の錘を使用して同一試驗中は一定，W_2 は槽内に滿した水の重量に依る．W_2 はコック C より次第に水を出し刻々の重量を側面の目盛に依り直接讀み得る，水を出す速さは平均 500 gr/分 程度である．O に加はる荷重は滑車 S_1 及 S_2 の摩擦抵抗の影響を受けるから豫め之を檢定し，又壁の自重による蝶番 B の周りの力率と共に測定値より差引く．此等の力はすべて蝶番 B の周りの力率を考へ，控桿取付けの高さ T に換算し之を P_T とする．控桿のない場合に限り壁の高さの下より 1/3 の點に作用するものとして P_T を算出する．

壁の變位の測定　壁 AB の底面には蝶番がありこの周りに回轉するのであるが，その量は壁頂部 A に附した銅線により第 8 圖のダイヤル D により 1/10 mm までの變位を測定する．

控桿及控版　控版は厚さ 1 cm の柾目杉板を使用し（木目が板の長手に水平になる様に使用）板の高さは $h=2$ cm 及 $h=h_1$ の二種類とし控桿の取付位置は $h=2$ cm の場合には版の高さの中央，$h=h_1$ の場合は版の下端より高さの 1/3 に相當する點である．控桿は徑 2.5 mm の鋼鐵棒を使用し控版にはナットに依り締付ける．壁との取付は壁内に捲込んだ環に鉤を以て取付け，桿は何れの場合にも試驗の初めには水平になる様にし，控版の長さが 40～60 cm の場合には圖の如く長さの中央及兩端より各 3 cm の三ケ所にて取付けるが，その他の短い場合には端より 3 cm の兩端に置く．

砂　壁背面に滿すべき砂は當試驗所附近の荒川水門下流に堆積したものを採取之を水洗して泥を除き日光にて十分乾燥し篩にかけたもので，篩分試驗の結果は第 9 圖に示す通りであつて



第 9 圖　試驗に使用した砂

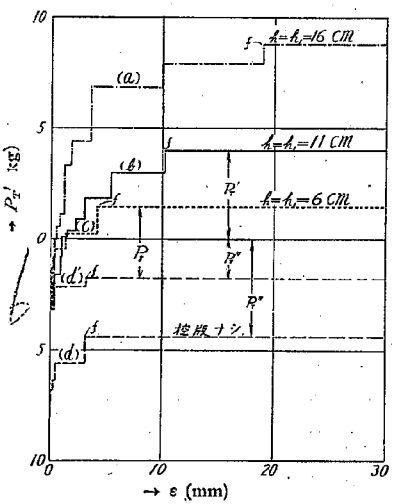
粒の平均の大きさ　0.26 mm;　　砂粒の比重　2.7

單位容積重量　1.26～1.48 kg/立;　　平均　1.33 kg/立

內部摩擦角　34°;　　息角　31° 30′;

ガラス側壁と砂との間の摩擦角　23° である．

操作の順序　函は水平，壁を鉛直にし橫木 KK (第 8 圖) に固定し，靜に砂を水平層に滿し，控版下端の高さに至つた時控版を壁に取付け正規の位置に置き，砂を尙次第に滿して壁の頂の高さに至る．必要の場合には側面のガラスに接する部分に間隔 2.5 cm～5.0 cm 每に水平の白い絹を入れる．滿し終つて後その試驗に應じて必要と考へられる W_1 の大きさを決定し $W_2=W_1+3$ kg とする．この 3 kg は壁 AB に働く正土壓，壁の自重による B の周りの回轉力率等に打勝つ爲の力である．W_2 の荷重はコック C より水を出せば次第に減少し，之に從つて壁が B の周りに回轉する量を D に依り測定し，D が最大 30 mm に至るまで觀測を繼續する．其時實際 T に加はるべき力 P_T は W_1, W_2 (S_1 S_2 に作用する摩擦抵抗力を考へに入れた値) D 及壁の自重に依る B の周りの力率等より計算する．卽ち此等の力の B の周りの力率の和を M とすれば $P_T'=\frac{M}{a}$ により算する．壁の頂 A の動き ε と前記の如く計算した P_T' との關係の 2, 3 の例を第 10 圖に示す．控版の大きさ深さ等に依る影響を見る爲に壁が急に傾き初める點 f に相當する荷重 P_T', P_T'', P_T''' 等によつて控版の位置等による優劣を比較する．



第 10 圖　控版に加はる力 P'_T と壁の頂 A の水平移動量との關係

〔4〕 深い位置にある控版に作用する力の試驗

試驗の種類　第 11 圖 (*a*) 及 (*b*) に示すものは

(*a*)　$h=2$ cm,　　(*b*)　$h=h_1$

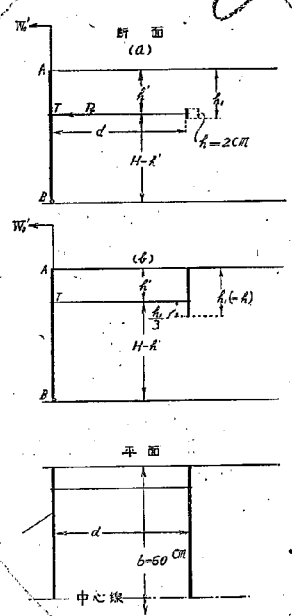
であつて各

$$h_1=6,\ 11,\ 16,\ 21,\ 26\ \text{cm}$$

の 5 種類の各々に就て

$$d=10,\ 20,\ 30,\ 40,\ 50\ \text{cm}$$

の各種に就て試驗した．控版の長さは何れも試驗函の幅と等しくする．但し兩端ガラス面との間に多少の間隙を存する事とし $l=59.6$ cm とした．同一の狀態の試驗は特別の場合の外は一般に二回宛行ふ．



第 11 圖　控版模型試驗の二つの場合

試驗の結果　第 8 圖 *O* に加はる力 W_1, W_2 等より P'_T を得るには第 10 圖による．控版がある場合には一般に W_1 が W_2 よりも大である．壁 *AB* には上記の力の外に正土壓力が作用する．第 10 圖 (*d*) に示した線は控版のない場合であつて正土壓の作用點が *B* より高さの 1/3 の點にあるとして畫いたものである．この場合には W_2 は W_1 よりも大であつてこの線の *f* は負の値 (これを P''_T とする) に相當する．

控版がある場合には壁 *AB* に作用する正土壓は一定とすれば前記 P'_T の外に正土壓による力が控版に働く，第Ⅰ章〔2〕(3) に述べた處に依り第 5 圖の *DM'* を *DF'* と *FN* とに分ち考ふれば正土壓は控版がある場合も之なき場合と近似的に等しいと考へる事が出來るから，この正土壓を前記 P'_T と同一とし P''_T を第 8 圖の *T* に於ける力に換算し $P'''_T=\dfrac{P''_T\times\frac{H}{3}}{a}$ とすれば實際控桿に働く力 P_T は

$$P_T=P'_T+P'''_T$$

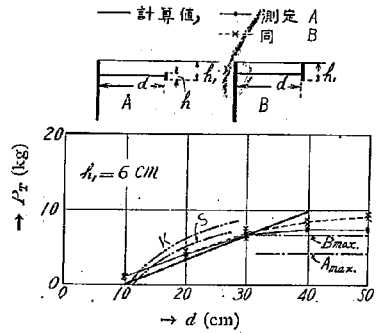
にて表はされる．第 10 圖に於て (*d*) 折線は一例として $h=h_1=6$ cm に相當する P''_T を示し (*d'*) 折線は之に前記の換算を施した P''_T を示す．$h=h_1=6$ cm の控版の試驗値 (*c*) 折線に就て前記 *f* の値をとれば之と P''_T との絶對値の和 P_T は圖に示す如き大きさとなる．

試驗の場合の平均値は $P''_T=-4.8$ kg, P'''_T は *a* に依り異り試驗の場合の下記 *a* に對しては次の如くである．

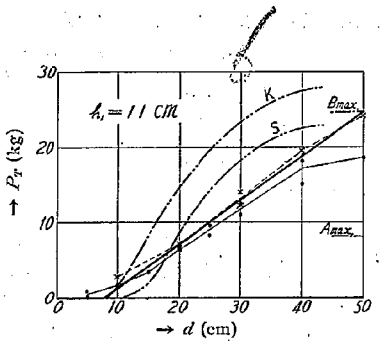
a (cm)	26	25	23.67	20	19.33	16	15	10
P'''_T (kg)	1.85	1.92	2.21	2.40	2.48	3.00	3.20	4.80

この試驗は第 11 圖 (*a*) 及 (*b*) に示した二種類の控版の效力の比較を目的としたのであつて同一の h_1 に對し P_T が壁と控版との距離 *d* に對し如何に相違するかを圖表にして第 12 乃至 16 圖に示した．

計算値　第Ⅰ章〔2〕に述べた計算に依る値 $P_T=wbh_1d\tan\varphi$ は圖に太い實線にて示した通り

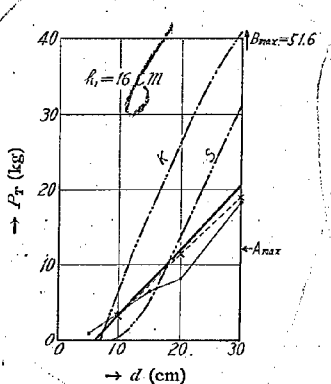


第 12 圖　壁に近い位置にある控版の支持力試驗結果 $h_1=6$ cm

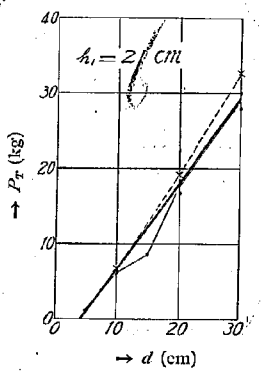


第 13 圖　同　上　$h_1=11$ cm.

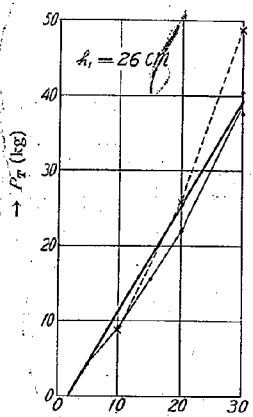
—— は A, ×…… は B に對する測定値，—— は $P_T=wbh_1 d\tan\varphi$ による計算値 (A, B 何れに對しても同樣) A_{max} 及 B_{max} は從來の計算式による版が十分遠方にある A 及 B の場合の値. K 及 S 曲線は版が壁に接近してある場合に從來の計算式に依る値. K は Krey 敎授の土壓表, S は Streck 氏の計算式に依つた値.



第 14 圖　同　上　$h_1=16$ cm



第 15 圖　同　上　$h_1=21$ cm



第 16 圖　同　上　$h_1=26$ cm

であつて，上記算定法が正しければこれは實驗値と一致すべきである．d が h_1 に比して大となり普通の抵抗土壓力を發揮し得る限度の距離を d_{max} とすれば d_{max} までは P_T は直線的に增大するが d_{max} 以後の d に對しては P_T は一定となる筈である．尙第 12～14 圖には從來の方法に依る計算値を測定値と比較する爲に

(1) 控版が擁壁より十分遠方にある場合 (卽ち第 1 圖 MM' より上方にある場合) に從來我邦に行はれてゐる計算式 (1) (第 I 章〔1〕參照) による値．圖に A_{max} 及 B_{max} として示す．

(2) 控版が擁壁に接近してある場合 (第 1 圖 MM' の下 DM の右にある時) に，從來行はれてゐる唯一の計算式 (3) (第 I 章〔2〕(2) 參照) による値を何れも $\varphi=34°$, $\varphi_0=-15°$ に就て算定して記入した．φ_0 のとり方により土壓係數に著しい差異を生ずるが，實驗の場合にかくと

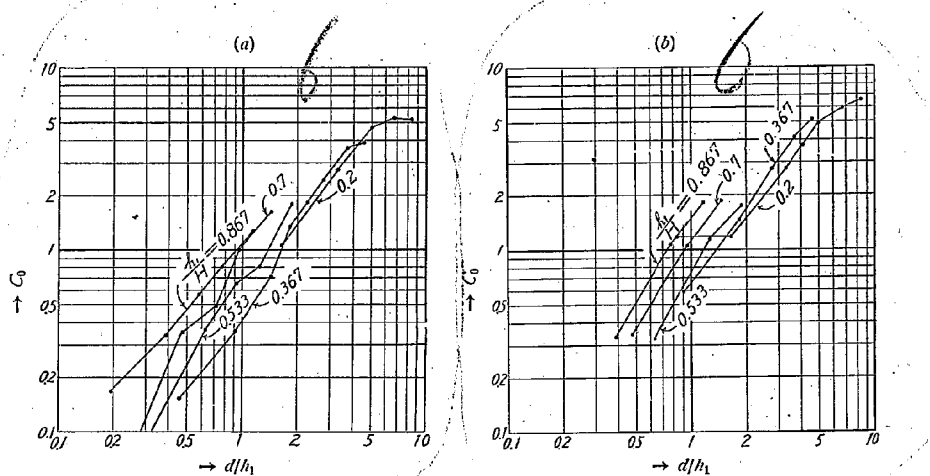
り得る事に就ては第 II 章〔4〕の試驗結果に述べた所により明らかである．尙玆には從來獨逸に最も多く行はれる Krey 敎授の土壓係數及崩壞角に依つて算出したもの，及最も近似的の値を示すと考へられる Streck 氏の土壓係數及崩壞角に依つて算出した二つを掲げた．

上記(1)の場合の版が深い位置にあるものは著しく過少の値を示し，(2)は一般に過大の値を示す．何れも計算の手數は玆に提案した (1′) 式 (控版が深い位置にあり且つ壁より十分遠方にある場合) 及 (4) 式 (控版が壁に接近してある場合) よりも遙に多いにも拘らず實驗の値とは著しく相違してゐる．

第 17 圖は第 12 乃至 16 圖に示した試驗結果を一般の場合に應用可能ならしめる爲に P_T を壁の單位長に作用する力に換算し

$$P_0=\tfrac{1}{2}C_0 w h_1^2 \qquad \text{卽ち} \qquad C_0=\frac{P_0}{\frac{1}{2}w h_1^2}$$

とし C_0, d/h_1 及 h_1/H の關係を示したもので，之に依れば φ が 34° 前後の場合に d/h_1 及 h_1/H を知れば C_0 の概略の値を知る事が出來る．



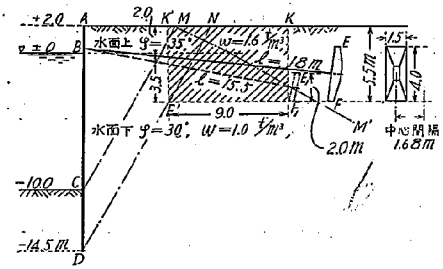
第 17 圖　控版に作用する力を $P_0=\frac{1}{2}C_0 w h_1^2$ とし C_0 と d/h_1 との關係を h_1/H の種々の場合に就て示す．第 12～16 圖の試驗結果による．(a) は第 11 圖 A の場合．(b) は第 11 圖 B の場合．

試驗結果の適用例　第 18 圖はラルゼン鋼矢板を使用して築造した朝鮮窒素肥料株式會社の水深 10 m の岸壁の斷面圖であつて獨逸製鋼會社の計算書に依れば圖の C を起點として聿いた二崩壞面 CM, MM' をとりその外側に控版 EF を設けその支持力は常時に於て 2 の安全率を有すると計算されてある (同計算は抵抗土壓係數を過小にとつた爲小なる安全率となつたが實際は之より稍大である)．安全の爲には崩壞面は D を起點としたものを採らなければならないから，かくすれば EF は上記だけの安全率を有しない筈である．この岸壁に前記の計算法を適用すれば (比較の爲此處には地震時の安定を考へず常時の安定のみを考へる) 圖に破線にて示した長さ 15.5 m の控桿に高さ 2.0 m の控版 E_1F_1 を附したもので十分である事が分る．卽ち圖に斜線を施した部分 $KF_1F'K'$ の重量に

依り控版に働く最大水平分力を圖に記入した夫々の値を採り水面上及下を區別して計算すれば岸壁の延長 1 m に對し

$$P_0=wh_1d'\tan\varphi=(1.6\times2.0+1.0\times3.5)\times9.0\times\tan30^\circ=34.6\,\mathrm{t}$$

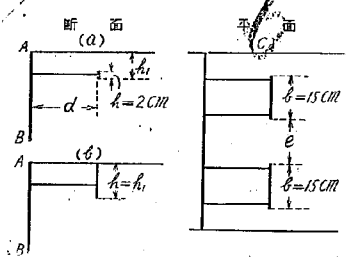
となる．然るに同計算書に依れば岸壁長 1 m に必要なる控版の支持力は 15.7 t となつてゐるから，常時に於ける安全率は $\frac{34.6}{15.7}=2.2$ となり計算書に必要とされた安全率より大なる値をとる．若し初めの計算の如く CM を崩壊面にとれば安全率は 2.8 以上となる．即ち抵抗土壓崩壊面の內側に控版を置くも十分に安定を保ち得る事はこの一例に依つても明にする事が出來る．尙この計算では控版が連續なるものとして算定したが實際は第 18 圖右端の圖に依り明らかなる如く版と版との間に 0.18 m の間隙がある．しかし〔5〕に記す通りこの程度の間隙の場合には連續版として算定して差支ない．



第 18 圖　實際の矢板岸壁に對し新計算法を適用して控版の位置を決定した一例．EF は實際に施工されたもの．新計算法に依れば E_1F_1 にて十分である．

〔5〕 控版の間隔がその抵抗力に及ぼす影響の試驗

（1） 二枚の短い控版に就ての試驗（控版が壁に接近して置かれたる場合）　前項に述べたものは控版の延長が擁壁の延長に等しい場合であつた（第 11 圖參照）が玆には控版が擁壁の總延長に對し部分的に存在する場合（第 19 圖 (c) 參照）に間隔 e が控版の支へ得る力に及ぼす影響に就て試驗したものを述べる．



第 19 圖　連續版でない控版に對する試驗裝置

最初に控版が擁壁に接近して置かれ第 I 章 (4) 式の計算が行はれ得る範圍にあり，且つ第 19 圖 (b) の如く控版の頂が地表面と一致する場合に就て述べ (2) に於て地表面より相當の深さにあるものに就き，(3) に於ては控版が擁壁に對し十分遠方にある場合を記す．

試驗の種類　第 19 圖 (c) に示す如く $b=15$ cm のもの二枚を使用し

$h_1=h=6,\ 11,\ 16$ cm

$e=0,\ 5,\ 10,\ 15,\ 20,\ 25,\ 30$ cm

$d=15,\ 25,\ 35$ cm

の各場合の試驗を行ふ．

試驗の結果　〔4〕節に述べたと同樣に整理した結果を第 20 乃至 23 圖に示す．何れも e が 0 より大になるに從つて控桿が支へ得る抵抗力は次第に大となつて最大値に達し，それより e の增大と共に減少する傾向がある．

今計算値と比較する爲にその中の一つ第 22 圖に就て見るに $e=0$ に對し a_{10}, a_{11}, a_0 として記入

した値は版の長さが 2×15＝30 cm として (4) 式に依り算定した夫々 h_1＝16, 11 及 6 cm の値であつて版の兩端に接してゐる土砂の影響を全然無視したものである．

版が崩壊面に近く第Ⅰ章．〔2〕に述べた算式 (4) が適用される場合にはこの兩端の土砂の影響は算式 (4 頁) を出したと同じ考へから

e=0 の場合には

$$P'_T=2\times\tfrac{1}{2}C_a w h_1^3 l\tan\varphi \quad \cdots\cdots\cdots(6)$$

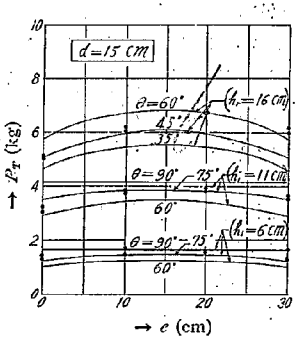
e が相當の大きさを有し兩側がガラス側面に接しない場合には

$$P''_T=4\times\tfrac{1}{2}C_a w h_1^3 l\tan\varphi \quad \cdots\cdots\cdots(7)$$

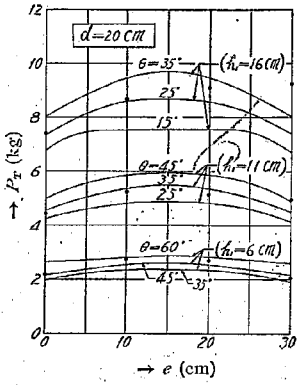
によつて與へられる．此等を第 22 圖の d＝25 cm の場合に就て算定すれば

h_1	16 cm	11 cm	6 cm
P'_T(kg)	0.885	0.475	0.158
P''_T(kg)	1.770	0.950	0.316

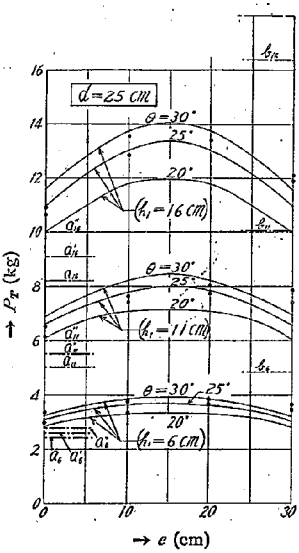
P'_T 及 P''_T に相當する値を前記 a_{16}, a_{11}, a_6 に加へた値を a_{16}', a_{11}', a_6' 及 a_{16}'', a_{11}'', a_6'' として第 22 圖に記入した．結局 (6) 及 (7) 式に與へた計算法が正しければ實驗値は e が異るに從ひ h_1＝16 に對しては a_{16}' と a_{16}'' との間にあるべく，その他の深さに對しても同樣の事が言はれる．然し試驗の結果は之と一致しないから，上記の計



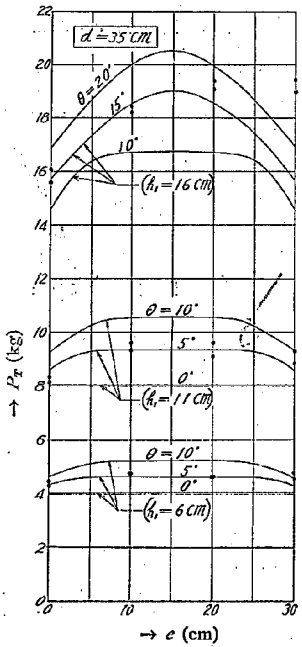
第 20 圖　控版の間隔 e の影響試驗の結果，記入の曲線は第 6 圖に於て斜線を施した部分の砂が控版の支持力に影響するとして算式 (4) により θ の種々の値に對する P_T を示す．
d=15 cm の場合



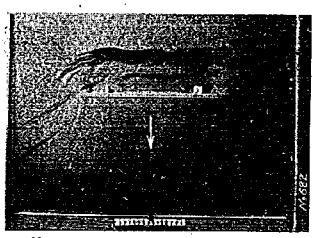
第 21 圖　同　上
d=20 cm の場合



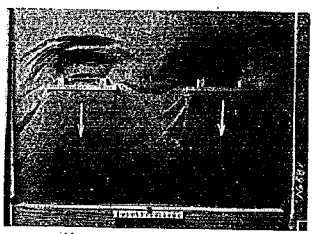
第 22 圖　同　上
d=25 cm の場合



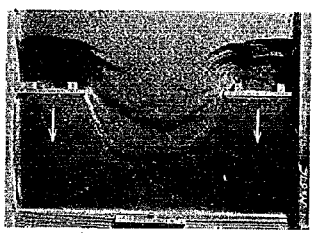
第 23 圖　同　上
d=35 cm の場合



第 24 圖 試驗後の砂の表面，b=15 cm のもの二枚，壁が ε=20 mm まで倒れた時．h_1=h=11 cm，e=0



第 25 圖 同上 e=15 cm



第 26 圖 同上 e=30 cm

算法が正しくない事がわかる．尙圖に b_{16}, b_{11}, b_6 として示したのは版が長さ 60 cm 卽ち壁の延長と同一の場合の値を (4) 式に依り算定したものである．

第 24～26 圖は試驗後の砂の表面の狀態であるが，之に依れば版の抵抗力を支配すべき砂の影響する範圍（以下之を影響圈と名づける）は版の兩端より或廣がりを持つてゐる事は明らかであつて，之を第 6 圖の如く版の垂線と一定の傾をなす直線により界されてゐると考へ，且つ一つの實驗に於ては版の兩端に於ける θ は一定として e の異る場合に影響圈內の土の重量より第 I 章〔2〕(4) の算式 (4) により算出した．P_T の値を h_1 の夫々に就て第 20～23 圖に記入した．之に依れば θ は h_1 及 d の値に依り異るがその中のある値（例へば第 22 圖 d=25 cm h_1=16 cm に對しては θ=25°）は測定値と割合によく一致する．但し e=0 と e=15 cm との間に一致するものも e=15 cm 以上では測定値が上記の θ の計算曲線と次第に離れる傾向が認められる．これは e が大になると共に實驗値は側面のガラス壁の摩影の爲と考へられる．依つて e=0～15 cm の値を基として d 及 h_1 の種々の場合之に相當する θ を書出せば次の如くなる．

θ の値

h_1 (cm)		6	11	16
d (cm)	15	80°	70°	55°
,,	20	45°	33.5°	27°
,,	25	24°	23°	23°
,,	35	5°[4]	5°[4]	15°

上記の結果に依れば壁の高さ H が一定なる場合 θ は $(1/d)^2$ に略正比例するから，h_1 の同一の値に對して $(H/d)^2$ と θ との關係を圖示すれば第 27 圖の如くなる．試驗の場合の近似式としては θ を度にて表はせば

H/h_1=5.0 に對し $\theta=19.7(H/d)^2$

2.72 ,, $\theta=16.3(H/d)^2$

1.87 ,, $\theta=13.3(H/d)^2$

を得る．以上の結果より h/h_1=1 卽ち控版の端が地表面まである場合に H/h_1=2, 3, 4, 5 の各種に就て θ と H/d との關係が得られる．尙次項 (2) に於て得た結果と合はせて h/h_1 が 1～8 の場合の圖表を第 34～37 圖に掲げる．此等の使用法に就ては次項に述べる．

4) 此の場合は抵抗土壓崩壞面の外方であるから，算式 (4) が適用出來ない場合であるが參考の爲に同樣に取扱つた θ の値を記す．

（2）　二枚の短い控版が深い位置にある場合の試験

（控版が壁に接近して置かれたる場合.）

試験の種類　前項（1）と同様に控版が壁に接近してあり且つその頂が地表面より相當の深さにあり且つ控版が壁の總延長に對し部分的に存在する場合に間隔 e（第 19 圖 (c)）が控版の支へ得る力に及ぼす影響に就て試験した．試験の種類は第 19 圖 (a) に於て $b=15$ cm, $h=2$ cm のもの二枚を使用し

$h_1=6,\quad 11,\quad 16$ cm

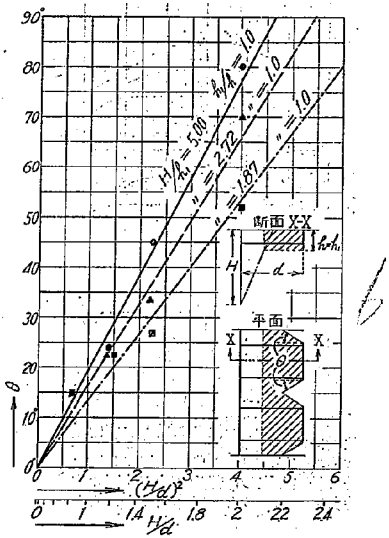
$e=0,\quad 5,\quad 10,\quad 15,\quad 20,\quad 25,\quad 30$ cm

$d=15,\quad 25,\quad 35$ cm

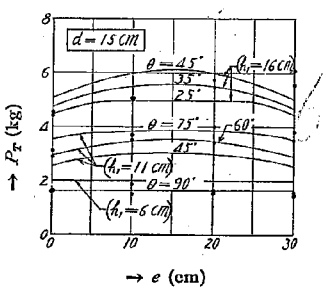
の各場合の試験を行ふ.

試験の結果　（1）の場合と同様に整理した結果を第 29 乃至 32 圖に示す.

壁の長さと同じ長さを有する連續版の場合には版の頂が地表面まである時も深い位置にある時も h_1 が一定ならば全く同様に取扱ひ得る事は既に述べたが，二枚の短い版がある場合には連續版とは多少異つた結果を得た．第 32 圖の陰影を施した部分の重量による P_T を算式 (4) により算定し θ の種々の場合の曲線を第 28 乃至 31 圖に同時に記入した．$e=15$ cm 以下では此等の中のある値の曲線と實驗値が一致するものも $e=15$ cm 以上では測定値が上記の θ の計算曲線と次第に離れる傾向が認められる事は前項と同樣であつて側面のガラス壁の影響と考へるのが至當である．依つて $e=0\sim15$ cm の間に於て兩曲線が割合に一致すべき値を書出せば次の如くなる.

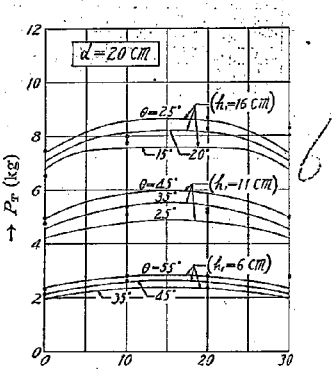


第 27 圖　控版が壁に接近して置かれてある場合二枚の控版の間隔 e の影響を試驗した結果，太い直線は $\theta=k(H/d)^2$ と假定し試驗した結果の各の平均値を表はす.



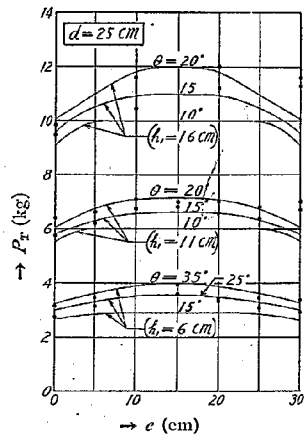
第 28 圖　連續版でない控版が深い位置にある場合の版の間隔 e の影響試驗の結果．記入の曲線は第 32 圖に於て斜線を施した部分の砂が控版の支持力に影響するとして算式 (4) により θ の種々の値に對する P_T を示す.

$h=2$ cm, $d=15$ cm の場合

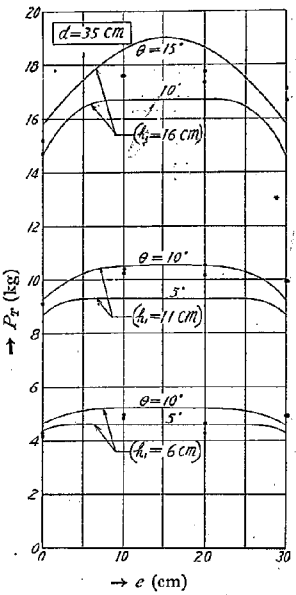


第 29 圖　同　上

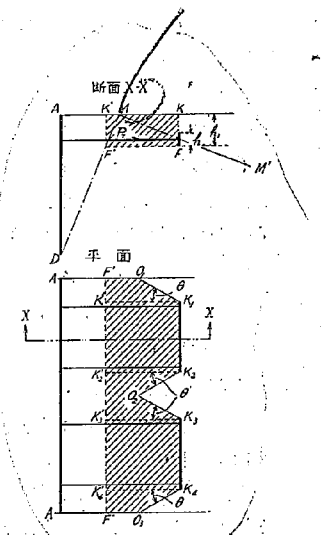
$d=20$ cm



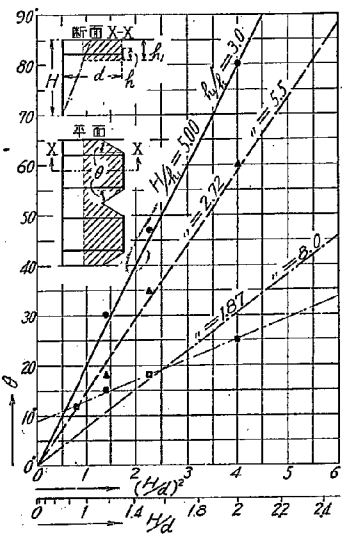
第 30 圖　連續版でない控版が深い位置にある場合の版の間隔 e との影響試驗の結果．記入の曲線は第 32 圖に於て斜線を施した部分の砂が控版の支持力に影響するとして算式 (4) により θ の種々の値に對する P_T を示す．$d=25$ cm



第 31 圖　同　上　$d=35$ cm



第 32 圖　控版が壁に接近して深い位置にある場合の圖．



第 33 圖　第 32 圖の場合に間隔 e の影響を試驗した結果．$\theta=k(H/d)^2$ と假定し k に適當の値を與へて試驗した結果の各の平均値を圖の太い直線にて表はす．

h_1 (cm)=		6	11	16
d (cm)=	15	80°	60°	25°
	20	47°	35°	18°
	25	30°	18°	15°
	35	5°[5]	7.5°[5]	12°

前項同樣に θ は $(H/d)^2$ に略ゝ正比例するから θ を度にて表はせば第 33 圖を得る．卽ち

$H/h_1=5.0$,　$h_1/h=3.0$　に對し　$\theta=19.7(H/d)^2$

$H/h_1=2.72$,　$h_1/h=5.5$　に對し　$\theta=14.8(H/d)^2$

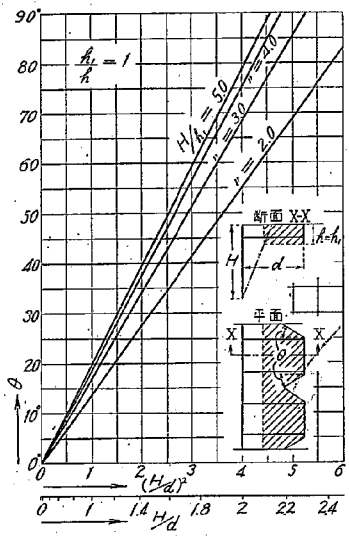
$H/h_1=1.87$,　$h_1/h=8.0$　に對し[6]　$\theta=7.6(H/d)^2$

なる關係を得る．

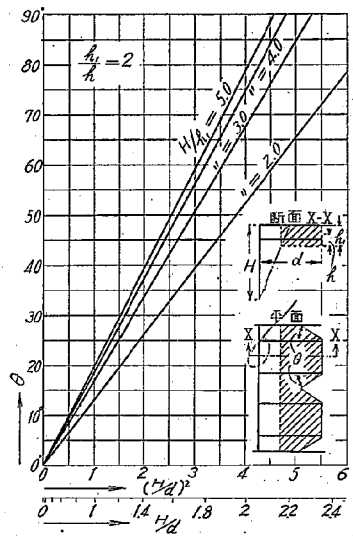
上記第 27 及 33 圖の結果は H/h_1 及 h_1/h の種々の場合の θ を示すものであるが更に此等試驗値の間は θ が

5)　脚註 4) 參照．

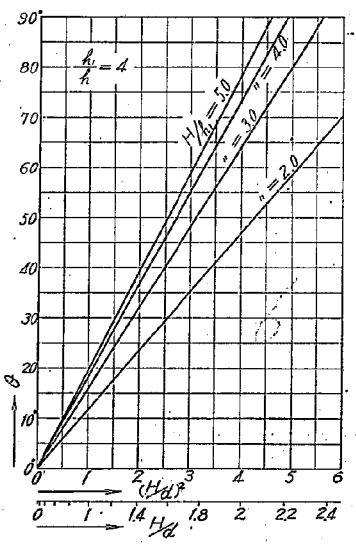
6)　この場合は $\theta=k(H/d)^2$ とするよりも第 33 圖に細い鎖線を以て示した樣な直線をとる方が適當と考へられるが玆では他のものと同樣に取扱つて k を決定した．



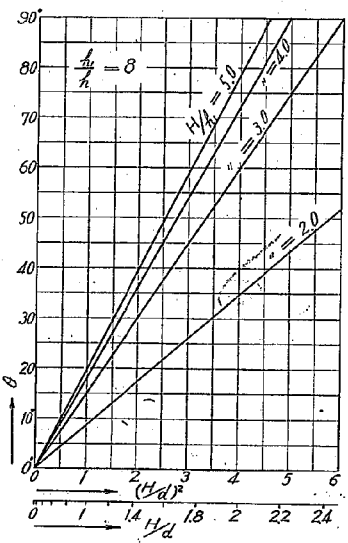
第34圖　第27圖の試驗結果より得たる $h_1/h=1$ の場合の H/d と θ との關係.



第35圖　第27圖及33圖の試驗結果より得たる H/d と θ との關係, $h_1/h=2$ の場合.



第36圖　同　上　$h_1/h=4$ の場合.



第37圖　同　上　$h_1/h=8$ の場合.

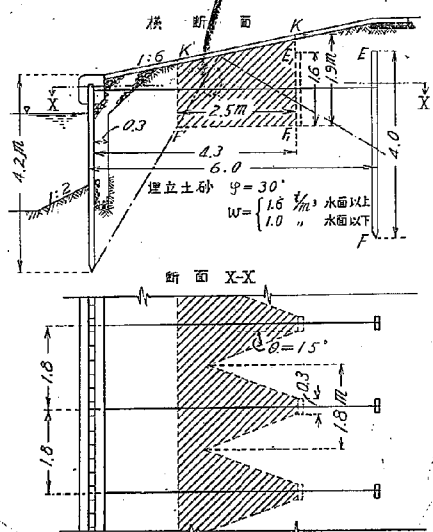
徐々に變化するものとして H/h_1 及 h_1/h の種々の場合の θ を算定し第 34 乃至 37 圖に示す．此等は擁壁に近い位置に連續版でない控版をおく場合に θ を何程にとり得るかを知る一資料たらしめんとしたものである．但しこれは $\varphi=34°$ の粘着力のない砂に就て試驗した結果より得たものであるから φ が之を著しく異る場合には適用出來ない．粘着力が相當にありしかも φ は上記と殆ど同一といふ場合には θ は上記圖表の値よりも大となるべく，從つて設計には上記の圖表を用ふれば相當に安全なものとなる．

試驗結果の適用例　第 38 圖は富山縣東岩瀨港の水深 2.0 m の護岸であつて（土木學會誌第二十卷第五號による）長さ 4 m の鐵筋混凝土矢板を使用し控版として同樣の矢板を間隔 1.8 m 每においたものである．埋立土砂の性質を第 38 圖に記入した値として，略算すれば控杭一本が支持すべき水平力は常時に於て $0.91\,t\times1.8=1.64\,t$，水平震度 0.15 の地震時に於て $1.20\times1.8=2.16\,t$ となる．

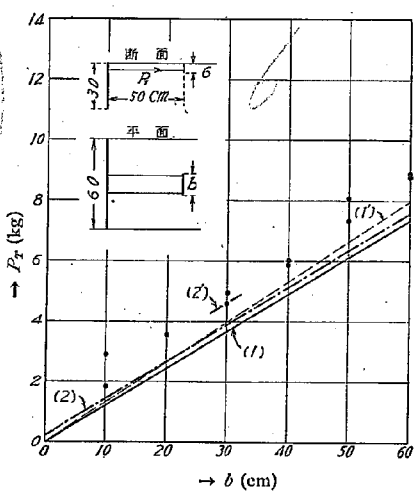
控版 EF の代りに破線にて示した長さ 1.6 m の EF と同じ斷面を有する控版 E_1F_1 を圖に記入した位置におき既記の計算法に依れば

$$\frac{h_1}{h}=1.19,\qquad \frac{H}{d}=\frac{4.2}{4.3}\fallingdotseq1.0,\qquad \frac{H}{h_1}=\frac{4.2}{1.9}=2.21$$

となり第 34 及 35 圖により $\theta\fallingdotseq15°$ となる（第 34 及 35 圖等は $\varphi=34°$ の實驗値によつて得たもので玆では $\varphi=30°$ であるが今近似的に上記の圖表を使用し尙地震時にも近似的に θ は同一とする）．卽ち第 38 圖に斜線を施した部分の土の重量が控版の支持力を支配する事となり，控杭一本每に常時



第 38 圖　實際の矢板物揚場に新計算法を適用して版控の位置及寸法を決定した一例．EF は實際に施工されたもの，新計算法に依れば E_1F_1 で十分である．



第 39 圖　擁壁から十分遠方にある控版の支持力が兩側面の土砂より受くる影響試驗の結果．(1) は兩側の影響を考へない場合の計算値，(2) は從來普通に行はれてゐる木文 (5) 式（第 I 章〔2〕）による兩側の影響を之に加へたもの，(1)′ は安藤博士の計算法による兩側を考へない場合の計算値，(2)′ は $h'/3$ の幅だけ版の長さが兩側に大になつたとした場合の計算値．

に於て $P=W\tan\varphi=3.85$ t 地震時に於ても近似的に之と等しくなる．即ち常時に於て $\frac{3.85}{1.64}=2.35$，上記地震時に於て $\frac{3.85}{2.16}=1.78$ の安全率を有する事となる．埋立土砂の性質が上記の假定に近ければ EF なる控版は E_1F_1 に示した如くで十分である．

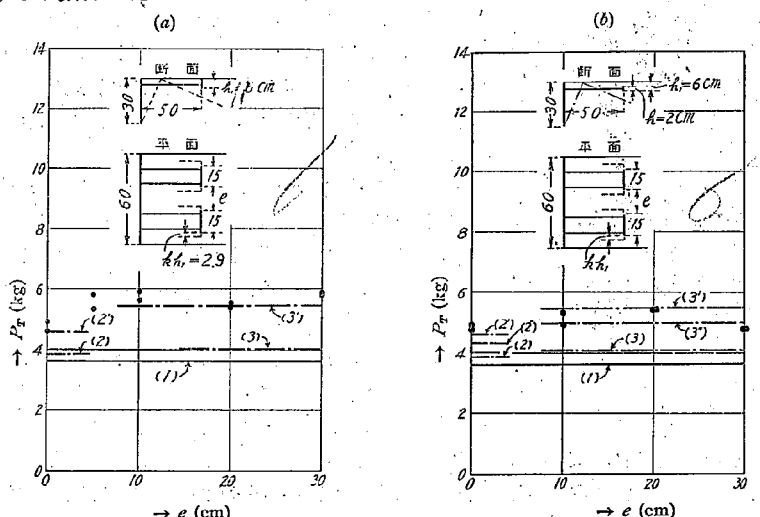
（3） 控版が壁より相當離れた位置にある場合

試驗の種類　控版に作用する力を普通の抵抗土壓の式から算定出來る程度に擁壁より離れた位置に置いた場合に控版の間隔の影響を見る爲に，次の三つの場合に就て試驗した．

1. $H=30$ cm, $d=50$ cm, $h_1=h=6$ cm 一枚の版 $b=5$, 10, 20, 30, 40, 50, 60 cm (第39圖參照).
2. $H=30$ cm, $d=50$ cm, $h_1=h=6$ cm 二枚の版 $b=15$ cm (第 40 圖) $e=5$, 10, 20, 25, 30 cm.
3. $H=30$ cm, $d=50$ cm, $h_1=6$ cm, $h=2$ cm, 二枚の版 $b=15$ cm, $e=5$, 10, 20, 25, 30 cm.

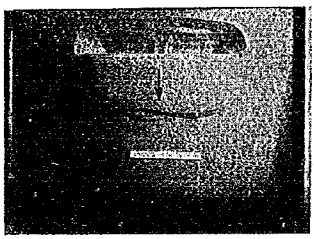
即ち先づ 1 に於ては版に接してある兩側の土砂の影響を見，2 及 3 に於ては直接に e の影響を版の頂が地表面まである場合及深い位置にある版に就て見たものである．

試驗の結果　上記試驗の結果は第 39, 及 40 圖に示した通りである．先づ 1. に就て見るに (第39 圖) この場合は上記の新提案の計算法が適用出來ないから Streck 氏の計算値[7]を採れば抵抗土壓

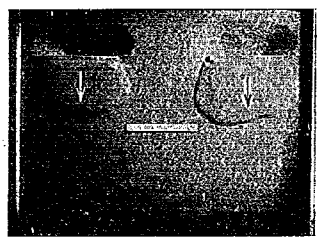


第 40 圖　間隔 e を隔てて置いた二枚の控版による試驗により第 39 圖の試驗結果を纏めた．(2)′ 及 (3)′ は上記の結果から豫期される値であつて測定點はこの計算値と略一致する．(a) は $h=h_1=6$ cm, (b) は $h_1=6$, $h=2$ cm の場合

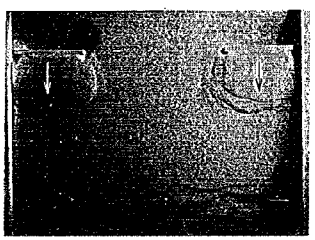
7) A. Streck "Beitrage zur Frage des Passiven Erddruckes" Bauing. Heft 1 及 2, 1926. 參照．尙この計算式は Franzius 氏の實驗結果 (Bauing, H. 43 及 44, 1928) と極めてよく一致してゐる．しかしてその場合 $\varphi=33°$, $\varphi_0=15°$ として計算してある．上記の場合には版は木の板であり Franzius 氏の場合は鐵板であるから φ_0 は多少相違すべきであるが鐵板との φ_0 が 15° より大であると考へられるに拘らず $\varphi_0=15°$ の値とよく一致するとの結果を得てゐるから，此處でも $\varphi_0=15°$ とし $\varphi=34°$ とした計算が $C_p\cos\varphi_0=5.50$ を得る　我國の安藤博士の計算式は極めて優秀なものであつて φ_0 及 φ のとり方が正しければ正しい値を示すと考へるが，上記 $\varphi=34°$, $\varphi_0=15°$ とすれば $C_p\cos\varphi_0=5.50$ となり上の値 5.05 に比し多少相違がある．Franzius 氏の實驗値は Streck 氏の計算値と比較したものであるから此處ではこの計算値に依る事とする．



第 41 圖　試驗後の砂の表面，版が壁より十分遠方にある場合
$h=h_1=6$ cm, $e=0$



第 42 圖　$e=$



第 43 圖　$e=0$

係數として $C_p\cos\varphi_3=5.05$ を得るから，$P_T=\frac{1}{2}C_p\cos\varphi_0 wh_1^2b$ に依り $b=60$ cm に對し $P_T=7.25$ kg となり第 39 圖に實線を以て記入したのはその値である．

普通の從來の計算法に從へば版の兩側の土砂の影響は版の一側に對し

$$P=C_a'wl\frac{h_1^3}{3}\tan\varphi \quad (\text{第 I 章〔2〕の (5) 式參照})$$

となり，此の場合には

$$P=0.27\times1.33\times19.2\times\frac{6\times6}{3}\times0.675=55.8\text{ gr}$$

となり兩側に對しては　　111.6 gr

となり P_T に此等を加ふれば (2) として示した値を得る．しかし試驗の値とは尙多少の差がある．

第 41～43 圖に示した寫眞の狀態を見るに版の前面では版の幅 b よりも大なる幅 b' の土が版と共に移動する事が認められる．しかしてこの兩者の幅の差は版の高さに比例するから $b'-b=2kh_1$ とし第 39 圖の實驗値と計算値 ((2) をとる) との差より k を算出する．(2) と實驗値との差は常に約 0.7 kg であるから

$$2kh_1\cdot\tfrac{1}{2}C_p'\cos\varphi_0 wh_1^2=0.7\text{ kg}\qquad\text{より}\qquad k=0.48$$

卽版の高さの約 1/2 の幅が版の兩側に加はると同じ結果になる．第 41 乃至 43 圖の崩壞土砂の幅を觀察するに略上の結果と一致する．卽ちこの場合には $\frac{b'-b}{2}=0.48\times6=2.9$ cm となる．

第 40 圖に於て $e=10$, 20 cm 等に於ける試驗では版の端の影響が上記の二倍となる．$e=0$ の場合に版の兩側の砂の摩擦抵抗に依る値 (第 I 章〔2〕の (5) 式による算定値) 及第 39 圖の結果より推論した版の有効幅が大となる影響を前項に依る計算値に加へた値を各 (2) 及 (2′) とし又 e が相當の大きを有する場合の同樣の値 (3) 及 (3′) を第 40 圖 (a) に記入した．卽ち測定値は $e=0$ に於ては (2′) に e が相當に大なる場合に於ては (3′) に一致すべきである．

上記の結果より見るに版の高さの約 1/2 が版の兩端に加はるとしこの有効幅によつて控版が支へ得る力を計算して差支ない．

版が深い位置にある場合 (第 40 圖 (b)) にはこの k の値が多少小となり前記の計算法を適用し前と同樣に $k=0.48$ とすれば，(2′) 及 (3′) を得る．この値は一般に測定値より大となる．$k=\frac{1}{3}$ とすれば (3″) に示した値を得られる．之に依れば深い位置にある場合は第 40 圖の場合に比し側面の土砂の影響は小となる．

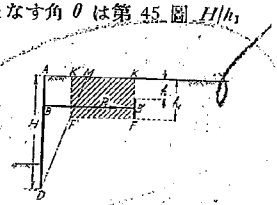
III 結　　論

以上の試驗結果より推論して次の如き結果を得る.

1. 控版の位置が抵抗土壓面より內にある場合 (第 44 圖に於て MM' より下にある時) にも十分有効であつて, この方が經濟的の事が多い.

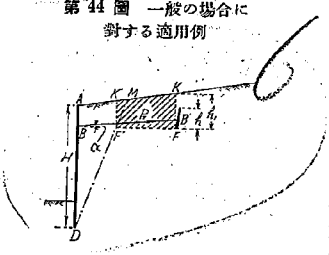
2. 上記の場合控版が支へ得る水平分力は連續版の場合には $W\tan\varphi$ で表はされる. 玆に W は第 44 圖に於て KF, $F'K'$ なる斷面を有する土の重量, φ は土の內部摩擦角である. 尙 DM は正土壓崩壞面 FF' は版の下端 F を過る水平面である. 之は版の頂が地表面に達する時は勿論第 45 圖の如く頂が地表面より相當の深さにある時に於ても同樣である. 但し上に述べた値は崩壞する時の力であるから設計の場合に相當の安全率を見込まなければならぬ.

3. 上記は連續版に於て述べたのであるが連續版でない場合 (第 32 圖參照) にも版の位置が MM' より內にあれば控版が支へ得る力は $W\tan\varphi$ で表はされる. 但し W はこの場合第 32 圖に示すハッチした部分の重量である. その境界をなす鉛直面 O_1K_1 等が版の垂線となす角 θ は第 45 圖 H/h_1 及 h_1/h の値により異り實驗により定めた θ は第 27 圖及第 34 乃至 37 圖に示した通りである.



第 44 圖　一般の場合に對する適用例

4. 從來の普通の計算法により算定可能なる場合卽ち控版が MM' より上にあり, しかも連續版でない場合には抵抗土壓力を算定する場合の控版の有効幅として版の高さの 1/2～1/3 を版の兩端に加へた値を採り得る. 但しこれは $\varphi=34°$ の乾燥せる砂に就ての試驗結果より推定したものであるから φ が上記より著しく異る場合には適用出來ない. (第 II 章〔4〕(2) 參照) $\varphi=34°$ を境として φ が之より大ならば上記より大となる (小ならば小).



第 45 圖

以上は鉛直控版に就て乾燥砂を使用しての試驗結果より結論したものであるから將來更に土砂の性質の異るもの及規模の大なるものに就き試驗した場合には上の結果に多少の補正を要するやも知れない. 例へば地表面が傾斜し且つ鉛直でない控版が擁壁の近くにある第 45 圖の如き場合に就ては上記の結果から直ちに推論する事が出來る. 卽ち控桿が支へ得る力の水平分力は $P_T\cos\alpha=W\tan\varphi$ となる, 但し W は斷面 $KFF'K'$ の土の重量, α は控桿 BB' が水平となす角である. 玆に FK 及 $F'K'$ は鉛直面を表はし FF' は水平面, DM は正土壓崩壞面である.

〔附　記〕　之に關する實際の試驗に就ては所員高橋藤平氏の助力に俟つ所が多い.

瀝青質纖目材試驗成績

内務技師　西　川　榮　三
内務技手　松　本　　榮

昭和7年5月，本所報告第22號 103～109 頁に於て混凝土鋪裝膠漬纖目用エラスタイトに關する試驗成績を一括表示してあるが，其の後瀝青質纖目材に關しては，東京土木出張所及横濱土木出張所等よりの依頼に依り，或は參考品として試驗せるもの 10 數種あり，之等の試驗成績を取纏め表示すれば，第1表乃至第3表の如くである．

第 1 表　瀝青纖目材の性質（外皮を有せざるもの）

試驗番號	1424[1]	1165	1164	1414
試料名	T—エラスタイト	E.C. 纖目材	同　左	同　左
依頼者	小岩國道改良事務所	參考品として試驗す	同　左	同　左
試料受入年月	S. 3. 1	7. 3. 8	7. 3. 8	S. 2. 9
試驗年月	S. 3. 22	7. 3. 25	7. 3. 25	S. 3. 30
1. 寸法　厚 mm	11.1	14.9	15.6	11.6
幅 mm	98.6	—	—	64.8
2. 單位面積重量 g/cm²	1.08	1.43	1.57	1.27
3. 比重 25°/25°C	0.973	0.961	1.006	1.095
4. 吸水率 1 日 %	0.17	0.30	0.65	0.43
3 日 %	0.30	—	—	0.50
7 日 %	0.30	0.62	2.16	0.72
28 日 %	0.30	—	—	0.94
5. 瀝青 CCl_4 %	—	—	—	—
CS_2 %	99.95	92.8	88.4	93.4
C_6H_6 %	—	—	—	—
6. 耐荷試驗[2] mm	>10.0	0.96	1.6	2.81
7. 針度				
0°C, 200g, 60 sec.	20	—	—	—
25°C, 100g, 5 sec	31.8	—	—	—
46°C, 50g, 5 sec	48.5	—	—	—
8. 延性 15°C cm	3	—	—	—
25°C cm	3.5	—	—	—
9. 軟化點 R & B °C	86.8	124	126	118.5
10. 抽出瀝青性質				
針度 25°C	—	9	9	16
軟化點 R&B °C	—	121	122	105
11 遊離炭素	—	—	—	—
12. 纖維質，鑛物質物質 %	殆どなし	7.2	11.6	6.6
13. 非瀝青物質の成分	殆どなし	動物性纖維に富む 鑛物性粉末を含む	—	有機性纖維に富む．

1) 加熱に依り動物油の如き臭氣を發す．殆ど纖維質物質を含まず．
2) 耐荷試驗は 25°C, 2.5 kg, 30 sec, 6.45 mm² の條件にて行ひたるものなり．

この中第1表に表示せるものは，通常市上に於てエラスタイトと稱するものとは其の趣を異にし，外皮を有せず，この中 No. 1424T エラスタイトと稱するものは CS_2 抽出瀝青 99.95% を示し，殆

第2表 瀝青質纖目材の性質（外皮を有するもの）

試驗番號	1567	1566	1355	1308	1307	1234
試料名	N エラスタイト	N アスファルト目地板	S エラスタイト	同左	同左	A エラスタイト
依頼者	横濱土木出張所	同左	小岩國道改良事務所	海局國道改良事務所	同左	府中國道改良事務所
試料受入年月	8. 7. 3	8. 7. 3	7. 12. 15	7. 10. 10	7. 10. 10	7. 7. 15
試驗年月	8. 7. 14	8. 7. 14	7. 12. 23	7. 10. 20	7. 10. 20	7. 7. 26
1. 寸法						
厚 mm	11.9	11.2	9.9	8.6	9.2	10.1
幅 mm	220.0	214.4	73.3	148.9	44.4	214.8
2. 單位面積重量 g/cm²	1.29	1.26	1.07	0.91	1.02	—
3. 比重 25°/25°C	1.09	1.10	1.08	1.06	1.11	—
4. 吸水率 1日 %	1.01	0.63	1.28	1.92	1.58	2.96
3日 %	2.30	0.85	1.57	2.22	1.69	—
7日 %	2.86	1.21	1.71	2.63	2.15	4.23
28日 %	—	—	—	—	—	—
5. 瀝青 CCl_4 %	—	—	—	—	—	—
CS_2 %	87.1	88.9	88.1	80.5	82.4	—
C_6H_6 %	—	—	—	—	—	80.2
6. 耐荷試驗 mm 25°C, 2.5kg, 30sec, 5.45mm²	—	—	3.0	3.08	3.81	4.68
7. 針度						
0°C, 200g, 60sec	—	—	7.0	—	—	—
25°C, 100g, 5sec	—	—	—	—	—	—
46°C, 50g, 5sec	—	—	—	—	—	—
8. 延性 15°C	—	—	—	—	—	—
25°C	—	—	—	—	—	—
9. 軟化點 R & B °C	95	97	91.5	90.5	91.5	101
10. 抽出瀝青性質						
針度 25°C	23	24	—	—	—	24
軟化點 R & B °C	75.5	76	87	106	102.5	78
11. 遊離炭素	存在	存在	—	—	—	—
12. 纖維質及鑛物質物質 %	12.9	11.1	11.9	19.5	17.6	19.8
13. 非瀝青質物質の成分	有機性纖維及遊離炭素	同左	有機性纖維及鑛物性粉末	同左	同左	鑛物性纖維及粉末
備考	タール臭，遊離炭素の存在よりタール系製品混入せるものの如し	同左	鑛物性粉末多し			

ど不溶解有機物及無機物を有せず，殆ど大部分は瀝青と油類とよりなるもの丶如く，加熱する時は動物油を加熱せる時の如き臭氣を發し，脂肪油類を混合加工せるもの丶如く，常溫（25°C）に於ては甚しく軟化變形することなけれども，自由に屈曲し得るものにして，瀝青質物質或はアスファルト・コンパウンドとして之を見る時は，延性小なれども，軟化點は高く，感應比は小（1：1.6：2.4）にして良好

第3表　瀝青質纖目材の性質

試驗番號	1232	1229	1167	1114	1113	1096
試料名	S エラスタイト	同　左	A エラスタイト	同　左	同　左	S エラスタイト
依頼者	梅島國道改良事務所	同　左	小岩國道改良事務所	同　左	同　左	同　左
試料受入年月	7. 7. 14	7. 7. 6	7. 3. 15	6. 12. 15	6. 12. 8	6. 11. 27
試驗年月	7. 7. 22	7. 7. 21	7. 4. 9	6. 12. 26	6. 12. 24	6. 12. 24
1. 寸法						
厚 mm	10.7	9.3	11.1	9.8	13.1	13.5
幅 mm	143.9	68.3	—	—	—	—
2. 單位面積重量 g/cm²	—	—	1.33	1.17	1.52	1.06
3. 比重 25°/25°C	—	—	1.20	1.19	1.16	—
4. 吸水率 1日 %	3.6	2.63	1.57	1.53	1.67	1.39
3日 %	—	—	—	—	—	—
7日 %	5.4	3.43	2.85	2.84	3.12	3.08
28日 %	—	—	—	—	—	—
5. 瀝青 CCl_4 %	73.7	—	72.55	79.65	76.95	83.83
CS_2 %	—	—	—	—	—	—
C_6H_6 %	—	78.5	—	—	—	—
6. 耐荷試驗 mm 25°C, 2·5kg, 30 sec, 6.45 mm²	2.41	4.38	2.44	2.09	1.17	3.45
7. 針度						
0°C, 200g, 60 sec	—	—	—	—	—	—
25°C, 100g, 5 sec	—	—	—	—	—	—
46°C, 50g, 5 sec	—	—	—	—	—	—
8. 延性 15°C cm	—	—	—	—	—	—
25°C cm	—	—	—	—	—	—
9. 軟化點 R & B °C	93.5	92	96	124	99.5	120
10. 抽出瀝青性質						
針度 25°C	⊙ 9	13	13	—	—	—
軟化點 R & B °C	⊙126	124 (?)	104	117	97	117
11. 遊離炭素	存　在	存　在	—	—	—	—
12. 纖維質及鑛物質物質 %	26.3	21.5	27.45	20.35	23.05	16.17
13. 非瀝青質物質成分	有機及無機の纖維及粉末	同　左	鑛物性纖維及粉末	同　左	同　左	有機性纖維及鑛物性粉末
備　考	⊙原瀝青の針度，軟化點とは相違す					

なる性質を有す．かゝる製品に對しては，通常のエラスタイトに對する規格其儘のものを以つて律することは當を得ないものと考へられる．普通のエラスタイトとの相違點を掲ぐれば次の如くである．

1. 吸水率極めて少きこと．
2. CS_2 抽出物多く，殆ど不溶解物なきこと．
3. 耐荷試驗は 10 mm 以上を示し，(通常のエラスタイトは 1.0～7.0)，本試驗を以つて規格すべきものでない．
4. 0°C に於ける針度 20; 46°C に於ける針度 48.5 にして，通常のブローン・アスファルトよりも，溫度に對する狀態の變化遙に少きこと．
5. 而も其の軟化點は 86.8°C を示し，常溫に於ては軟化變形の虞なきこと．

第4表　エラスタイト試驗成績最大，最小値

試驗項目		最小値	最大値	平均値
1. 寸法				
厚	mm	8.6	13.5	10.7
幅	mm	60.3	220.0	—
2. 單位面積重量	g/cm²	0.91	1.52	1.16
3. 比重 25°/25°C		1.06	1.20	1.12
4. 吸水率 1 日	%	0.63	3.6	1.81
7 日	%	1.21	5.4	2.96
5. 瀝青	%	72.55	88.9	81.4
6. 耐荷試驗	mm	1.17	4.68	3.07
7. 軟化點	°C	90.5	124.0	99.3
8. 抽出軟青性質				
針度 25°C		9	24	18
軟化點 R & B	°C	75.5	126	101

上記の諸性質を通覽するに本品は，軟化點高く，溫度の感受性少きアスファルト・コンパウンドを板狀となしたるものにして，使用にあたりては，エラスタイトと略同樣に取扱ひ得べく，一層柔軟性に富むものである．

E. C. 纖目材は，外皮を有せざることは T— エラスタイトと同樣なるも，瀝青は 88.4～93.4% にして，纖維質物質及其の他の塡充材約 6.6～11.6% を含有し，從つて耐荷試驗にはよく耐へ，0.96～2.81 mm を示し，軟化點 120°C 前後にして，高溫に對しては充分に耐ふるものである．この中 No. 1414 程度のものは，屈曲性をも相當に有し，纖目材として使用に適するものである．

第2表及第3表は，外皮を有し，通常エラスタイトと稱せられて居るものにして，この中 No. 1566 N-アスファルト目地板は，其の外皮極めて薄く，殆ど外皮なきもの、如き外觀を有し，其の外觀は E. C. 纖目材と似て居る．No. 1567, N エラスタイトは，之と略同樣なる品質を有するも，外皮は相當の厚みを有する．いづれもタール臭あり，遊離炭素を含み，抽出瀝青の軟化點比較的低きも，纖目材として使用し得るものと思はる．

S エラスタイト {No. 1355, No. 1308. No. 1307, No. 1232, No. 1229, No. 1096} 及 A エラスタイト {No. 1234, No. 1167, No. 1114, No. 1113} は普通のエラスタイトなるも，この中には其の形狀を保持せしめんが爲に，軟化點を極端に高くし，耐荷試驗の成績極端に少きものもあり，冬期に於て脆弱となる憂なしと斷言し難きものもある．

第4表はエラスタイト試驗成績の最大最小値を示したものである．

第4表と報告第二十二號 109 頁第2表の成績とを比較するに，エラスタイトの性質は，概して等齊となり極端に柔軟に過ぐるもの，極端に瀝青量少きもの等少く，幾分の進歩を示して居る．

從來の成績及本試驗の成績より，瀝青質纖目材に對する規格 (案) を作成すれば次の如くである

瀝青質纖目材規格案×

瀝青質膨脹纖目材は，瀝青質材料を主體とするか，或は之に纖維質材料又は鑛物質材料を加へ均等に混和せるものを主體とせる板狀製品にして，其の兩面に瀝青ファブリックの外皮を附し或は附せざるものにして，次の性狀を有するものたるべし．(第5表)

第 5 表

項　　目	第 1 種	第 2 種	第 3 種
1. 厚　　mm	纖目間隔に應じ適當厚のもの指定の事	同　左	同　左
2. 比　重　25°/25°C	0.95～1.15	0.90～1.11	0.90～1.06
3. 吸水率　1 日　%	≦ 4.0	≦ 2.0	≦ 0.5
7 日　%	≦ 6.0	≦ 4.0	≦ 1.0
4. 狀　態	良　好	良　好	良　好
5. 外皮を除きたる部分の性質			
a. 瀝青　CS_2　%	70～90	85～95	≧ 95
b. 軟化點　R & B　°C	≧ 80	≧ 80	≧ 85
c. 耐荷試驗　mm 25°C, 2·5 kg, 30 sec, 6.45 mm^2	2.0～7.0	2.5～7.0	—
d. 針　度			
25°C, 100g, 5 sec	—	—	10～40
46°C, 50g, 5 sec	—	—	≦ 60
6. 回收瀝青性質			
a. 針度　25°C, 100g, 5 sec	(1) 10～40	(1) 10～40	—
b. 軟化點　R & B　°C	≧70	≧ 70	—
備　　考	(1)は通常試驗を行はざるも可とす．但し必要を認むる場合は之を行ふ	同　左	

上記規格案は，通常のエラスタイトのみならず，外皮を有せざる T エラスタイト，E. C. 纖目材の如きをも含み，之を大體3種に區別せるものにして，第1種は，從來通常エラスタイトと稱せられたるものに適用するものである．之を報告第二十二號106頁に記載するエラスタイト所要性質と比較するに次の諸點に於いて少しく異つて居る．

1. 比重．25°/25°C の項目を加へたること，エラスタイトの，外皮を除きたる部分即其の主體とする所は瀝青と，纖維質材料とを主成分とし，之に少許の石粉の類を加へたるものであるが，纖維質材料少くして石粉の類のみ多きものは，性質概して不良であり，其の比重は高い．この意味より比重の制限を設けたのである．

2. 瀝青の量は，概して，75% 以上 90% 以下にして，70% 以下のものは殆どなきを以つて，從來の 65～90% を 70～90% に改めたものである．

3. 耐荷試驗に於ては，其のあまりに少きものは，稍硬きに失する嫌あるを以つて，之を 2.0～7.0 mm に改めたものである．

4. 抽出瀝青の軟化點は，溶劑の種類によりて異り C_6H_6 抽出は種々の點に於て不便あるを以つて CS_2 抽出によることゝし，且つ從來の 85°C 以上を 70°C 以上に改めたものである．配合物の如何によりては，瀝青軟化點 70°C 以上のものと雖も充分優良なる製品をうべきを以つてである．而して其の針度はあまり脆弱ならざるブローン・アスファルトを原料とすべく 10～40 に限定せるものである．

× 本案は之によりて諸方面の意見を聞かんが爲に作成せる所にして，未だ確定せるものに非ず，製造，使用兩方面の技術の進歩と相待ち今後必要に應じ，補足訂正して，完成せる規格に到達せんが爲の方便である．本案に對する意見は，內務省土木試驗所西川技師宛寄與せられたし．

第2種及第3種は，T エラスタイト，E.C 纖目材等の如き外皮を有せざる製品に適用するものにして，報告第二十二號 106 頁に記載するエラスタイト所要性質に示されたるものをもつて規格しがたき製品に對する規格案である．

其第 2 種の第 1 種と異る所は，比重少しく低く，瀝青含有量多く，從つて混合物の軟化點は，稍低き點 (80°C) までを許容し，耐荷試驗は，第2種に關してのみ之を定めて，其のあまりに脆弱なることを避け，抽出瀝青の軟化點は，上記の諸性質に對應し得る程度 (70°C) とせるものである．又其の針度は，あまり脆弱ならざるブローン・アスファルトを主原料となすべく 10～40 に規格せるものである．

第3種は，特種の純瀝青に近き製品として之が規格を設けたのである．

南洋材カポール竝にターペンタインの物理的諸性質に關する試驗

内務技師　青木楠男
石川利雄

目　次

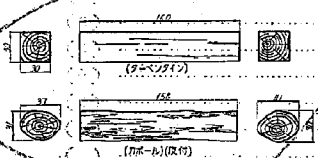
緒言 …… (2)
I 總論 …… (2)
1. 試料 …… (2)
2. カポール …… (2)
3. ターペンタイン …… (3)
II 比重，含水率竝に收縮率 …… (3)
4. 氣乾狀態の比重と含水率 …… (3)
5. 收縮率 …… (4)
III 壓縮强さ …… (9)
6. 試片竝に試驗方法 …… (9)
7. 絕對乾燥狀態壓縮强さ …… (9)
8. 氣乾狀態壓縮强さ …… (11)
9. 飽水狀態壓縮强さ …… (15)
10. 壓縮方向竝に含水率の相違による壓縮强の變化 …… (16)
IV 引張試驗 …… (16)
11. 試片竝に試驗方法 …… (16)
12. 幹軸方向の引張强さ …… (17)
13. 幹軸に直角の方向の引張强さ …… (19)
V 曲げ試驗 …… (21)
14. 試片竝に試驗方法 …… (21)
15. 曲げ强さ …… (21)
VI 剪斷試驗 …… (22)
16. 試片竝に試驗方法 …… (22)
17. 剪斷强さ …… (24)
VII 硬さ …… (26)
18. 試片竝に試驗方法 …… (26)
19. 硬　さ …… (26)
VIII 彈性率 …… (27)
20. 測定方法 …… (27)
21. 壓縮による彈性率 …… (28)
22. 引張による彈性率 …… (32)
23. 曲げによる彈性率 …… (35)
IX 要　約 …… (37)

緒　言

本報告は南滿洲鐵道株式會社が其埠頭築造工事に於て防舷材竝に防腐材として使用せんとせる，南洋材“カポール”竝に“ターペンタイン”につきて著者等が引張，壓縮，剪斷等各種の强さ竝に硬度，彈性率，收縮率等の試驗を行ひたる結果を一括せるものなり．

I　總　論

（1）試料　滿鐵川崎埠頭工事事務所より當所へ送達せられたる資料は第1圖の形狀のものにして，カポールは直徑最小 30 cm，最大 41 cm の丸太材にして長 158 cm，ターペンタインは 30 cm 角，長 160 cm，孰れも乾制甚しく，且つカポールには多數の蟲食孔散在せり．

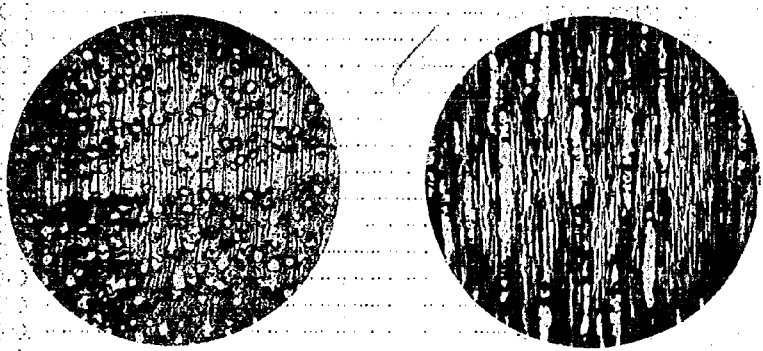


第 1 圖　カポール竝にターペンタイン試料

（2）**カポール**　Kapor 又は Camphor tree Borneo と呼ばるゝ本材は Fox Worthy 氏の說によれば Dipterocarpeae, Dryobalanopo と稱せらるゝ種類に屬し，眞の Camphor tree に比して遙かに香氣劣れり，又 Hose 氏によれば Borneo の土人によつて同樹は Padji と唱へられ，所謂 Kapor 又は Karpaw なる稱は Maley 人によりて傳へられたりと云ふ．

同樹に比較的低地に產する Kapor Paya と比較的高地に產する Kapor Bukit とあれども，兩種其耐久性に幾分の差あるのみにて顯著なる相違なし．

本材は淺き暗赤褐色を呈し弱き芳香を有し，大氣に曝露せば表面暗色を增す．木質硬く優れたる仕上面を示す．元來材質に缺點を有するもの多く，構造材として不適當なりと考へられたるも，近時長質の大材を供給しうるに至り，構造材として重要の位置を占むるに至れり．只本質的の短所は其乾燥困


(A) 木　口　　(B) 柾　目

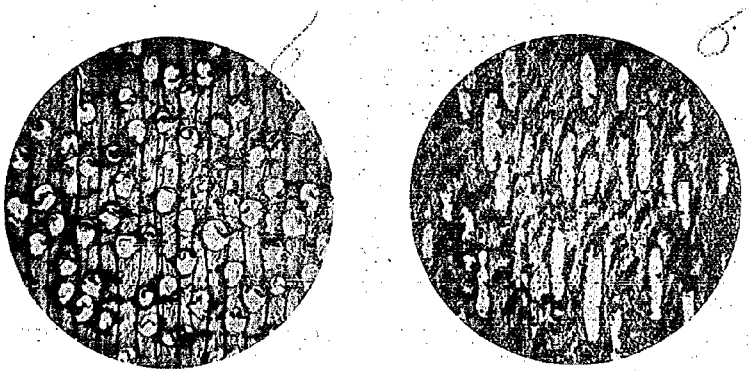
第 2 圖　Kapor 材の組織（倍率約 25）

難なる點にして，充分なる乾燥材を得んがためには，2 年間の自然乾燥を行ひたる後蒸汽乾燥法を施す必要ありと稱せらる．又一種のゴム質を含有し鐵類に接觸して，濕氣ある場合黑色の汚滲を生ず．

木材は組織均等にして，磨耗均一且つ表面滑性ならずして，床材として優秀なる性質を有す．

第 2 圖は Kapor の木口竝に柾目の顯微鏡寫眞にして，導管の散在と，互に平行に規則的に配列されたる多數の髓線の存在を認め得べし．

（3） **ターペンタイン**　Syncarpia leptopetala と稱せらるゝ木材は其質堅硬，組織緻密にして，海蟲の被害をうくること少く，防舷材として推稱せらる，赤褐色にして，木口には微細なる多數の髓線を現はし，導管は木口全面に一樣に散在す．第 3 圖はターペンタインの木口竝に柾目の顯微鏡寫眞なり．



（A）木　口　　（B）柾　目

第 3 圖　Turpentine 材の組織（倍率約 25）

II　比重，含水率竝に收縮率

（4） **氣乾狀態の比重と含水率**　木材實質の比重は樹種を問はず一般に約 1.54 なり．從つて通例比重と云はるゝものは見掛けの比重にして，主として木質中の空隙と含水量とに支配せらる．而してこの比重として擧げらるゝものに，生木の比重，氣乾狀態の比重，絕對乾燥狀態の比重，飽水狀態の比重の 4 種あり．

これ等の中生木の比重は原材の運搬費等につきては重要性を有するも，一般工事用材料としての必要性を認めず．又與へられたる資料につきて，これを求むることも不能なるが故に，この試驗に於てはこれが調査は省略したり．又木材の强度は含水率が其纖維飽和點以下なる場合，これに殆んど逆比して變化し，同一含水率に於ては實質の最も密なるもの，卽ち見掛けの比重大なるものほど，大なる强度を示すものと考へらるゝが故に，最大强を示すべき絕對乾燥狀態，竝に最小强を示すべき飽水狀態に於ける比重を求むることも相當有意義なりと信ずるも，工事用材として使用せらるゝ木材は多く氣乾狀態にありて，絕對乾燥飽水等の狀態に置かるゝこと殆んど無し．

從つて氣乾狀態の比重を必要とすること最も多きのみならず，本試驗が同樣の意味に於て氣乾狀態

の各種物理的性質の測定を主眼とせる關係上，比重の測定もこれを氣乾狀態のものに限りたり．

比重の測定には後述すべき硬さ試驗用の試片 5 cm 立方のものを用ひたり．比重測定時の試料は，送附されたる原材が伐採後相當の時日を經過せると，試片製作後試驗までに可成の日數を置きたるが故に充分氣乾狀態に達しをりたるものと認めたるも，含水率測定の結果は乾燥困難なるカボール材が幾分餘分の含水率を有したること明かとせり．

比重の算定には第1式を用ひ，同時に第2式を用ひて含水率を求めたり．

$$\text{比重}=\frac{W}{W+W''-W'} \quad \cdots\cdots(1)$$

$$\text{含水率}=\frac{W-W_0}{W_0}\times 100 \quad \cdots\cdots(2)$$

茲に

W 試片の空氣中に於ける重さ (gr)

W' 試片と錘との水中に於ける重さ (gr)

W'' 錘のみの水中に於ける重さ (gr)

W_0 試片の絕對乾燥時の空氣中の重さ (gr)

試片の水中に於ける重さ測定には試片表面に流動パラフインを塗布して水の浸入を防ぎたり．

第1表は以上の如くにして求めたる氣乾狀態の比重竝に含水率を示す．

第 1 表 カボール及ターペンタインの比重

カボール			ターペンタイン		
試片番號	比重	含水率 (%)	試片番號	比重	含水率 (%)
K_1	1.01	18.3	T_1	0.82	15.2
K_2	1.01	18.1	T_2	0.79	14.8
K_3	1.04	18.9	T_3	0.82	14.9
平均	**1.02**	**18.4**	**平均**	**0.81**	**15.0**

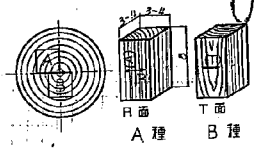
第1表の結果によればカボールの比重は內地材にて最も重き赤樫類に匹敵し，ターペンタインは檜類に相當せり．試料の含水率を見るに後者は一般內地材の氣乾含水率 14～15% と大差なきも，カボールの夫れは 18.4% にして著しく大なり．同材が乾燥困難なることを其缺點とすることは總論に於て說きたるところにして，この試片も未だ完全に氣乾狀態に達せず，一般木材の如く 14～15% の含水率に達せしむるには尙幾分の時日を要するものなりしことを知れり．從つて上記の比重も幾分輕減して考へらるべきものと信ず．

(5) 收縮率 木材は其含水率が纖維飽和點以下に達したるとき收縮をはじむ．其收縮量は幹軸の方向，年輪半徑方向，年輪切線方向にて其量を異にす．今兩南洋材につきて此等の收縮率を測定しこれを數種の內地材の夫れと比較せんとす．

收縮率の測定方法として從來一般に採用せられたるものは，板材又は角材類を乾燥せしめ其長，厚，幅等の收縮を觀測するを例とせるも本試驗にては特に下揭の如き方法を用ひたり．

A) 試片竝に收縮測定 試片は先づ試料より第 4 圖 A 及 B の如き四方追柾及二方柾の角柱を採り，A 種にては R 面より，B 種にては T 面より厚約 0.15～0.2 mm のものを鉋削りし，この薄

片につきて，R 面よりのものにて幹軸方向（A）及年輪半徑方向（R），T 面よりのものにて年輪切線方向（T）の伸縮を測定せり．



第 4 圖　收縮率測定試片製作用材

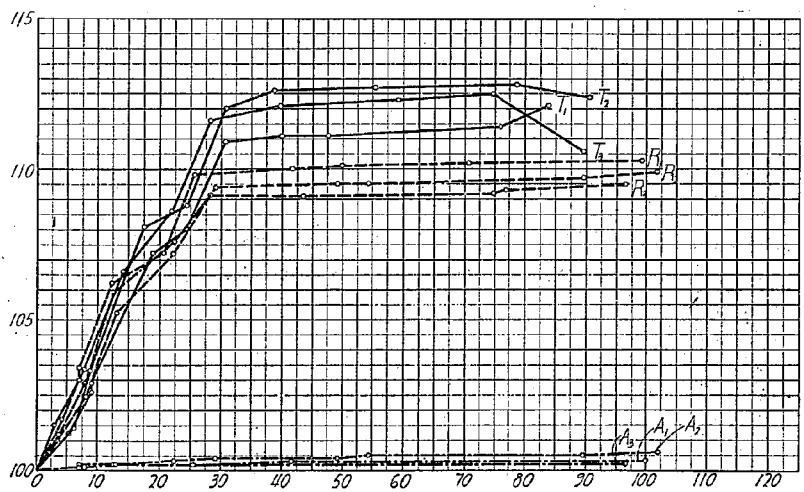
試片は先づこれを水中に浸して，充分吸水せしめ飽水狀態となりたるとき，水中より取り出し，表面の水分を拭ひ取りて其重量を測定すると同時に，所定の方向に一定の測定距離を隔て標點を記せり．以後試片は蓋付ガラス容器内に保管し毎朝其重量と標點距離の變化を測定す．試片の含水量ほゞ氣乾狀態に達せる後は之を乾燥器内に入れ，試片が重量の變化を示さゞるに至るまで觀測を繼續せり．長さの測定にはコムパレーターを使用す．精度$\frac{1}{500}$mm なり．

B）試驗成績　第 5 圖は上記の方法によつて求めたる含水率と收縮率との關係圖表なり，縱軸には絕對乾燥狀態に於ける長さを 100 とせる場合の長さを採り，橫軸は含水率を示す．

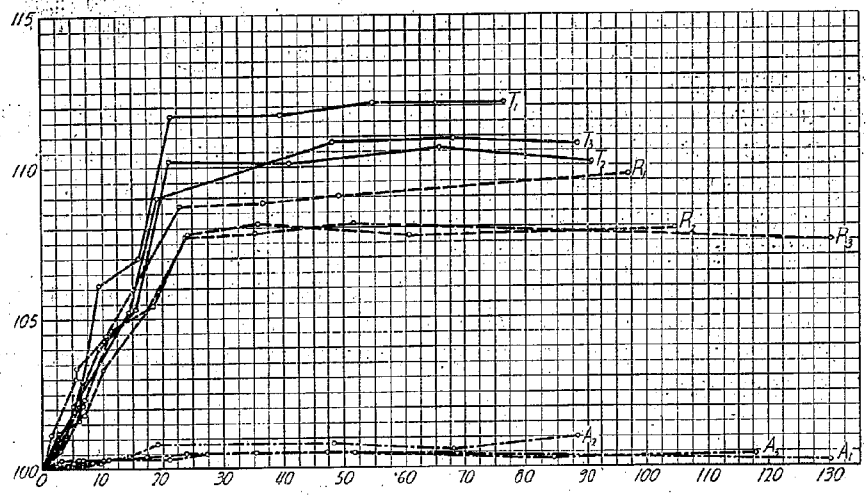
試驗に供したる材種はカポール，ターペンタイン，檜，黃柏，日本杉，米杉，米松，五葉松の 8 種にして，各々 A，R，T の方向の 3 試片につきて測定を行ひたり．

今これ等の結果に基き各材種 3 方向の飽水狀態より，絕對乾燥に至るまでの最大收縮率の平均を總括すれば第 2 表の如し．

第 5 圖　含水率と收縮率との關係

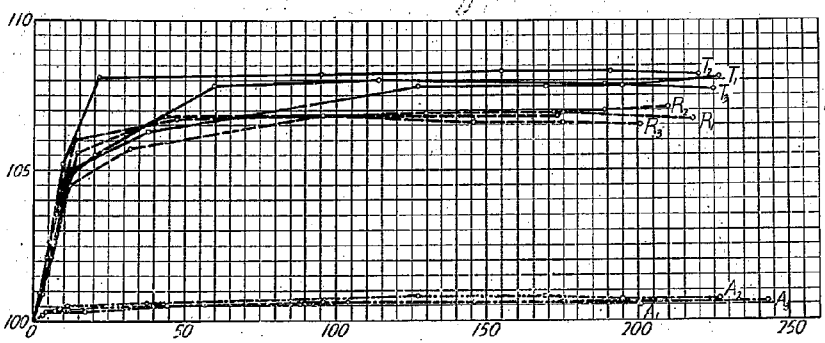


（1）カポール



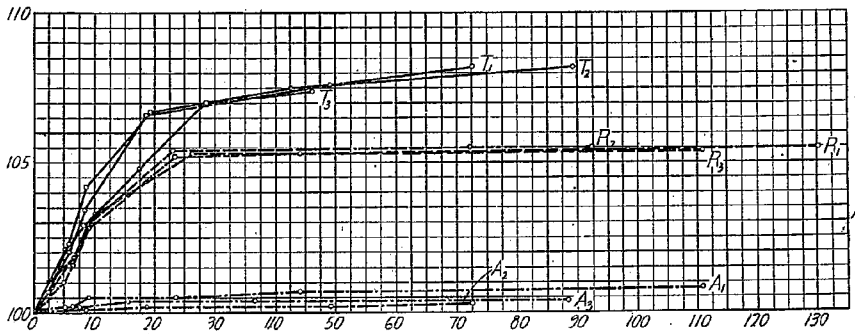
含水率

(2) ターペンタイン



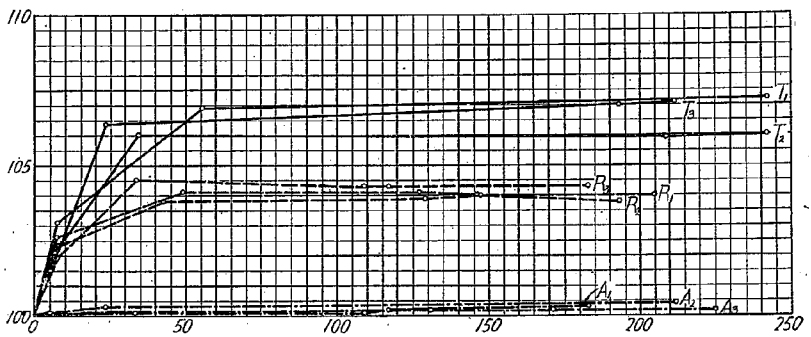
含水率

(3) 桧



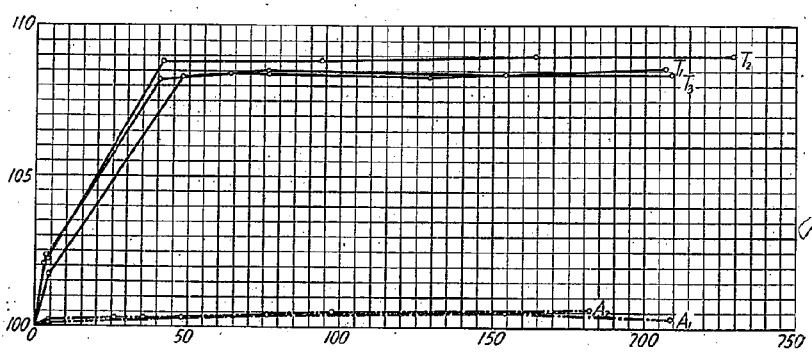
含水率

(4) 羅漢柏



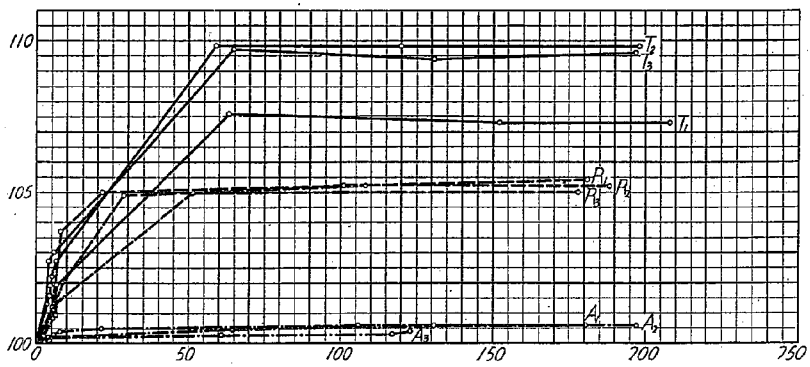
含水率

(5) 日本杉

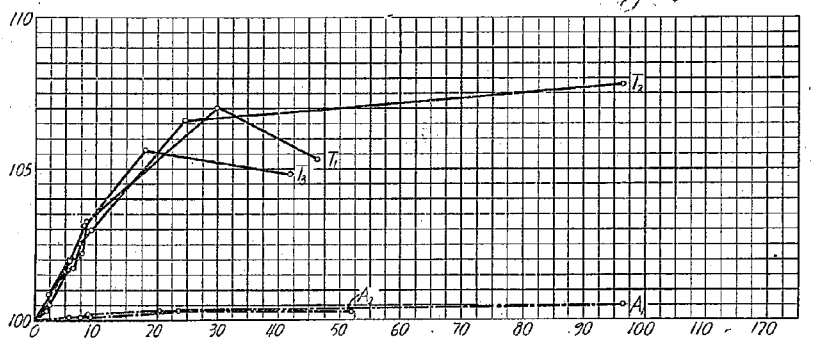


含水率

(6) 米杉



（7）米　　松



（8）五　葉　松

第 2 表　飽水狀態より絕對乾燥に至るまでの收縮率

收縮方向＼材種	カポール	ターペンタイン	檜	羅漢柏	日本杉	米杉	米松	五葉松
乾軸の方向(A)	0.37	0.67	0.67	0.5	0.3	0.55	0.53	0.4
年輪切線方向(T)	12.4	11.2	8.1	8.2	6.7	8.7	9.0	6.7
年輪半徑方向(R)	9.9	5.3	6.9	5.4	4.2	—	5.2	—

第2表に示すところによれば兩南洋材の收縮率が內地產一般構造木材の夫れに比して著しく大なることを知る．材質緻密にして兩材とも 1 に近き比重を有する事を考ふるとき當然の結果なりと云ひ得べきも，日本杉に比して約 2 倍の收縮率を有することは兩材使用上に特別の注意を要する點なるべし．殊にカポールが收縮の大なるほかに (4) に述べたるが如く乾燥困難なる缺點を有する事は兩者相俟つ

て木材利用上の一大缺點をなすものと云ふべし.

第2表に於ける各材の收縮率は，これを從來發表されたる收縮率測定の結果に比するに著しく大なり．これ其試片に薄片を用ひたるが故にして，在來の板又は角材を用ひしものに比して，一定方向への收縮極めて自由なりしことに基因す.

尙收縮率の比較には各材片につきて其比重，年輪數，秋材率等を明かにするを要當とするも兩南洋材につきてはこれ等の測定不能なり，又其他の材につきてはこれの記錄を逸したるを遺憾とす.

III　壓縮强さ

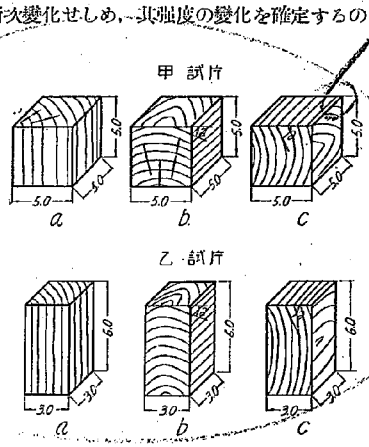
（6）　試片並に試驗方法　　木材壓縮强さを支配する最大要素はこれが含水率なること既述の如し，從つて壓縮試驗としては壓縮强さと含水率との關係を明かにするを最も興味ある方法とするも，與へられたる試料にてはこれを求むること不能なりしが故に，試驗は絕對乾燥，氣乾，飽水の狀態につきて行ひたり.

こゝに絕對乾燥狀態と稱するは試片を恒溫爐中にて溫度90°を保ちつゝ乾燥し，其重量に變化を認め得ざるに至れる狀態を云ひ，氣乾狀態とは送附されたる試料より試片を製作したる後室溫中に相當日數放置し其含水量が空氣中の溫度と平衡するに至れるものと認めらるゝ狀態を云ふ．この狀態の含水率は壓縮試驗後これを測定せり，下揭の成績表に併記せるものはこれにして，試片中立方形のものはカポールにて平均 25％，ターペンタインにて 18％ の含水率を示せり，これによつて見るにこれ等立方形試片は所謂氣乾と稱せらるゝ狀態には未だ達しおらざりしものと認めらる．同試片中角壔形のものは含水率 16 及 14％ にして充分氣乾狀態にありたり．飽水狀態とは浸水飽和の狀態となりたるものを云ひ平均 72～76％ の水を含めり.

木材壓縮强さは更に其壓縮方向によつて著しき變化を示すを常とす．從つてこの關係を最も明瞭ならしめんがためには，壓縮方向を幹軸並に年輪に對して漸次變化せしめ，其强度の變化を確定するの要あるも，この試驗に於ては試料の都合上幹軸の方向即ち木口に直角の方向（A），年輪半徑方向即ち板目に直角の方向（R），及年輪に切線の方向即ち柾目に直角の方向（T）の方向につきてのみ試驗を行ひたり.

試片の形狀はこれを 2 種に區分し，甲試片は 5 cm 立方とし，これにつきては3乾燥狀態，3 壓縮方向各 3 個總計 27 個，乙試片は斷面 3 cm 平方高 6 cm の角壔形とし，氣乾狀態につきて3方向各 3 個總計 9 個の試片につきて試驗を行ひたり．第6圖はこれ等の形狀寸法を示せるものなり.

試驗に使用したる試驗機は 200 T amsler 型壓縮試驗機及 5T 松村式多能試驗機なり.



第 6 圖　壓縮試驗片

（7）　絕對乾燥狀態壓縮强さ　　この試驗に用ひた

る試片は，これを規定寸法に製作したる後に恒溫爐中にて乾燥せしめたり，從つて含水率の減少に伴ふ木質の收縮は試片の形狀寸法に幾分の狂ひを生ぜしめたり，變形の最も甚しかりしは兩材ともa試片にして加壓面の方形は菱形を呈するに至れり，菱形の隅角はカポールに於て 88°．ターペンタインに於て 85°～88° なり，斯くの如き著しき形狀の變化は年輪切線方向に最大收縮率を有する木材としては一般に豫期し得るところなり．他の b 及 c 試片に於ては斯くの如き顯著なる形狀の變化は認め難きも其寸法に於て各〻下揭第3表成績表に示すが如く最大 10% 程度の收縮を示せり．

第 3 表　絕對乾燥狀態壓縮試驗成績

(1)　カ ポ ー ル

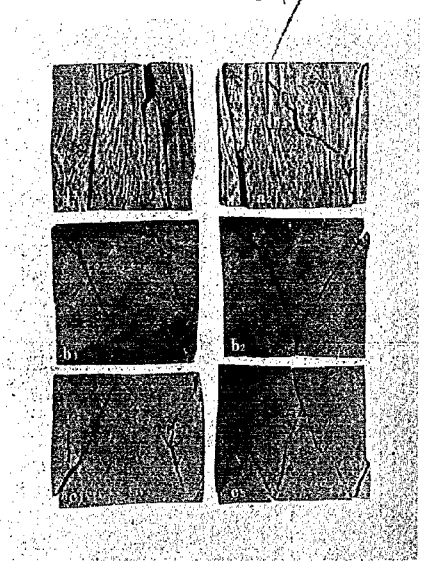
試片番號	壓縮方向	試片寸法 (cm) 長	幅	高	斷面積 (cm²)	含水率 (%)	年輪方向 (α*1)	最大荷重 (kg)	壓縮强さ (kg/cm²)
A－a_1	(A)	4.59	4.49	4.95	20.6	0	—	25 250	1 230
A－a_2		4.60	4.47	4.95	20.6	0	—	23 250	1 130
A－a_3		4.57	4.45	4.97	20.3	0	—	25 000	1 230
平均									**1 200**
A－b_1	(R)	4.98	4.48	4.70	22.3	0	15	3 950	177
A－b_2		4.97	4.45	4.66	22.1	0	5	5 200	235
A－b_3		4.97	4.44	4.65	22.1	0	10	5 550	251
平均									**221**
A－c_1	(T)	4.97	4.69	4.46	23.3	0	80	4 500	193
A－c_2		4.96	4.68	4.47	23.2	0	85	5 800	250
A－c_3		4.97	4.67	4.45	23.2	0	85	5 500	237
平均									**227**

(2)　ターペンタイン

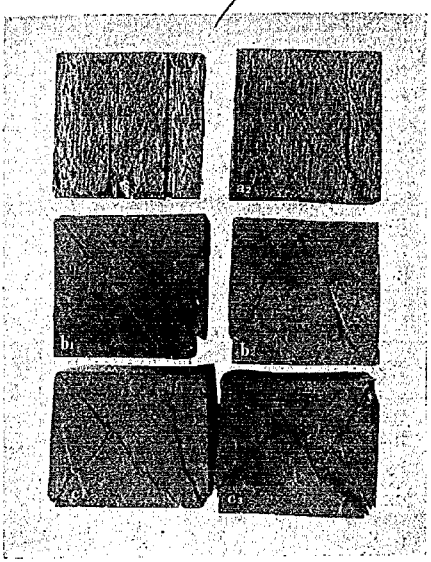
試片番號	壓縮方向	試片寸法 (cm) 長	幅	高	斷面積 (cm²)	含水率 (%)	年輪方向 (α*1)	最大荷重 (kg)	壓縮强さ (kg/cm²)
A－a_1	(A)	4.70	4.70	5.00	22.1	0	—	24 100	1 090
A－a_2		4.69	4.67	5.00	21.9	0	—	23 000	1 050
A－a_3		4.67	4.64	5.00	21.7	0	—	23 500	1 080
平均									**1 070**
A－b_1	(R)	5.00	4.51	4.78	22.6	0	20	2 200	97
A－b_2		5.02	4.55	4.77	22.8	0	15	2 500	110
A－b_3		5.00	4.48	4.75	22.4	0	15	2 250	100
平均									**102**
A－c_1	(T)	5.00	4.79	4.49	24.0	0	80	2 500	104
A－c_2		5.00	4.76	4.52	23.8	0	75	2 200	92
A－c_3		5.00	4.79	4.50	24.0	0	70	2 200	92
平均									**96**

*1 第 6 圖參照.

試片破壊狀況を見るにカポール材にて a 試片の破壊は主として纖維に沿ひての竪割によりこれに幾分斜めの龜裂を交へたり．b 試片は加壓上面を底邊とせる楔形に斜めの龜裂を生じて破壊せるもの多く，龜裂の加壓上面となす角度は略ゝ 70° なり．c 試片の破壊は略ゝ b 試片の狀況と類似の傾向を示せり．第 7 圖はこれ等試片の破壊狀況を示す．



第 7 圖　壓縮試驗片(甲)破壊狀況—カポール材
(絶對乾燥)



第 8 圖　壓縮試驗片(甲)破壊狀況—ターペンタイン材(絶對乾燥)

ターペンタインには a 種のものの竪割によることカポールと同樣加壓面に挫潰せる部分あり，b, c 種の龜裂はカポールの夫れと大差なし．第 8 圖はこれが破壊狀況を示せり．

（8） 氣乾狀態壓縮強さ

1) 甲號試片によるもの　試片は略ゝ 5.0 cm 立方なり．形成後壓縮試驗までに多少形狀の變化を示せるものありたり．試片の變形は壓縮試驗に不便を感ぜしむる程度には達せず輕易のものなりしも，其含水率がカポールにて平均 25%，ターペンタインにて平均 18% にして氣乾の狀態に至らず過分の水を含めることが強度に及ぼせる影響は無視する能はざるものと思考す．從つて第 4 表の強度は兩材の氣乾狀態の強度としては幾分過少と認めざるべからず．

第 4 表　氣乾狀態壓縮試驗成績
（甲號試片によるもの）

（1）　カ．ボ　ー　ル

試片番號	壓縮方向	試片寸法 (cm) 長	幅	高	斷面積 (cm²)	含水率 (%)	年輪方向 α*1	最大荷重 (kg)	壓縮强さ (kg/cm²)
B−a_1	(A)	4.74	4.89	5.00	23.2	26.4	—	10 200	440
B−a_2		4.89	4.76	5.00	23.3	27.3	—	10 600	455
B−a_3		4.65	4.76	5.00	22.1	21.7	—	11 750	532
平均						**25.1**			**476**
B−b_1	(R)	5.02	4.87	4.90	24.4	23.9	10	4 700	193
B−b_2		5.00	4.79	4.90	24.0	25.6	25	4 550	190
B−b_3		5.02	4.71	4.88	23.6	24.2	0	4 650	197
平均						**24.6**			**193**
B−c_1	(T)	5.01	4.86	4.62	24.3	23.4	90	8 450	348
B−c_2		5.00	4.91	4.69	24.6	25.1	90	8 600	350
B−c_3		5.02	4.94	4.75	24.8	28.9	90	6 200	250
平均						**25.8**			**316**

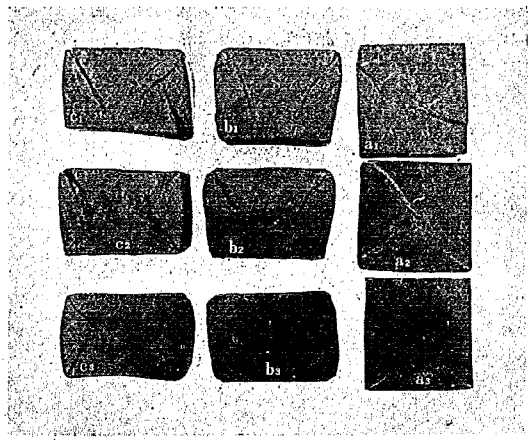
（2）　タ　ー　ペ　ン　タ　イ　ン

試片番號	壓縮方向	試片寸法 (cm) 長	幅	高	斷面積 (cm²)	含水率 (%)	年輪方向 α*1	最大荷重 (kg)	壓縮强さ (kg/cm²)
B−a_1	(A)	4.92	4.92	5.03	24.2	17.3	—	11 650	481
B−a_2		4.93	4.93	5.03	24.3	17.5	—	13 200	543
B−a_3		4.91	4.90	5.01	24.1	17.2	—	13 450	558
平均						**17.3**			**527**
B−b_1	(R)	5.02	4.87	5.02	24.4	17.5	5	2 850	117
B−b_2		5.02	4.95	5.00	24.8	20.3	18	2 350	95
B−b_3		5.02	4 81	4.95	24.1	16.7	17	2 670	111
平均						**18.2**			**108**
B−c_1	(T)	5.03	4.98	4.81	25.0	16.3	72	3 670	147
B−c_2		5.03	4.99	4.90	25.1	19.3	74	2 750	110
B−c_3		5.02	4.97	4.87	24.9	18.6	81	3 300	133
平均						**18.1**			**130**

*1 印第 6 圖參照

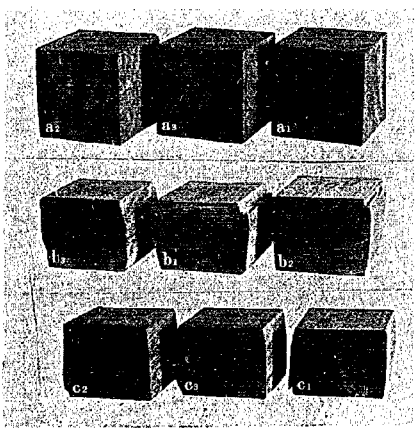
これ等の破壞狀況を見るにカボール a 種のものは壓縮面に對し 35° 前後の傾斜を示す辷り面に沿ひて龜裂を生じ，辷り面の層向は皆年輪半徑方向にむかへり．b 種のものは壓縮と共に著しき粘性變形を示し，龜裂の發生までの壓縮量 5 mm 以上に及べるものあり．龜裂は本口面に起り其 4 隅より壓縮面に對し 40°～60° の傾斜をもつて對角線狀に發達せり．c 種のものは b 種と略ゝ同斷の破壞狀況を示し，其粘性度は前者以上の如く見受けらる．

ターペンタインの a 種に於ては其破壞辷り面の層向が年輪半徑方向にむかへることカポールと同樣なるも辷り面は時々竪割れを交へ階段狀を呈せり．木質がカポールに比して割裂性に富むことを示すものと云ふべし．b 種試片にては木口の隅角より龜裂を發生せるもカポールの如く明瞭ならず，c 種のものゝ龜裂は試片綜部に年輪に沿ひて小龜裂を示せるのみにして對角線狀の割れを示せるものなし，第 9 圖，第 10 圖はこれ等の龜裂狀況を示す．



第 9 圖　壓縮試驗片(甲)破壞狀況カポール材(氣乾)

2) 乙號試片によるもの　試片は略ゝ 3.0×3.0×6.0 cm の角壔形をなす．從つて其强度，破壞狀況が甲號試片の夫れと幾分の相違を示すべきことは豫想さるゝところなるも，この形狀の相違以外に兩種試片の試驗時の含水率に著しき差異ありたるため試驗成績は顯著なる相違を生じたり．卽ち甲號試片の場合含水率は 18～25% にして氣乾とは稱し難き狀態なりしに對し，乙號試片は 14～16% にして大體氣乾狀態と見做しうべき程度にありたり．從つて其强度は甲號試片に比して，木口に直角の方向の壓縮にて 30～40% の增大を見せたり．



第 10 圖　壓縮試驗片(甲)破壞狀況
ターペンタイン材(氣乾)

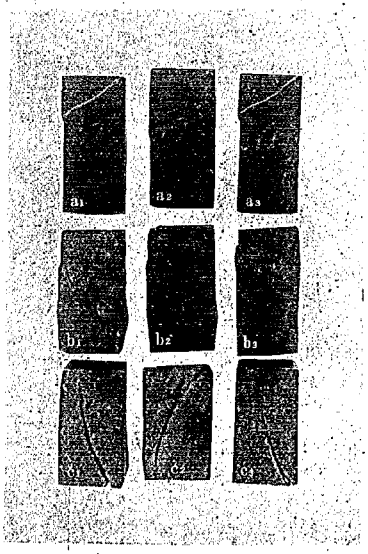
第 5 表　氣乾狀態壓縮試驗成積
(乙號試片によるもの)
(1)　カ ポ ー ル

試片番號	壓縮方向	試片寸法(cm) 長	幅	高	斷面積 (cm²)	含水率 (%)	年輪方向 a	最大荷重 (kg)	壓縮强さ (kg/cm²)
B−a_1	(A)	2.67	2.66	5.88	7.10	15.8	—	4 270	601
B−a_2		2.65	2.65	5.87	7.02	15.8	—	4 500	640
B−a_3		2.65	2.66	5.90	7.05	16.3	—	4 720	670
平　均						16.0			637

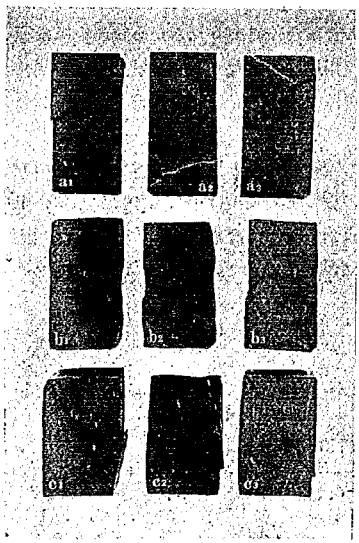
B−b_1		2.65	2.65	5.68	7.02	16.9	0	1 500	214
B−b_2	(R)	2.65	2.65	5.70	7.02	16.7	0	1 410	201
B−b_3		2.65	2.64	5.68	7.00	15.9	0	1 330	190
平均						**16.5**			**202**
B−c_1		2.64	2.65	5.39	7.00	15.5	90	1 420	203
B−c_2	(T)	2.64	2.65	5.40	7.00	15.6	90	1 570	224
B−c_3		2.65	2.65	5.40	7.02	15.5	90	1 390	198
平均						**15.5**			**208**

(2) ターペンタイン

試片番號	壓縮方向	試片寸法 (cm) 長	幅	高	斷面積 (cm²)	含水率 (%)	年輪方向 α	最大荷重 (kg)	壓縮强さ (kg/cm²)
B−a_1		2.90	2.89	6.00	8.38	13.4	—	6 050	722
B−a_2	(A)	2.89	2.90	6.00	8.38	13.7	—	6 000	716
B−a_3		2.89	2.89	6.00	8.35	14.1	—	6 100	730
平均						**13.7**			**723**
B−b_1		2.82	3.00	5.90	8.46	13.8	0	940	111
B−b_2	(R)	2.83	3.02	5.90	8.55	13.2	0	1 000	117
B−b_3		2.83	3.01	5.90	8.52	13.6	0	975	114
平均						**13.5**			**114**
B−c_1		2.96	3.00	5.80	8.88	13.9	90	1 410	159
B−c_2	(T)	2.95	3.01	5.75	8.88	14.2	90	1 430	161
B−c_3		2.95	3.00	5.74	8.85	14.0	90	1 430	162
平均						**14.0**			**161**



第 11 圖 壓縮試驗片(乙)
破壞狀況—カボール材(氣乾)



第 12 圖 壓縮試驗片(乙)
破壞狀況—ターペンタイン材(氣乾)

乙號試片の破壞狀況を見るに，a 種のものは兩材とも甲號試片に於けると同樣に，年輪半徑方向に層向を有する辷り面に沿ひて破壞を生じ，傾斜角はカポール約 35°，ターペンタイン約 25° なり．ターペンタインの一試片は同一層向を有し，傾斜方向相反する 2 個の辷り面を生じ兩面の交點に於て竪割れを生じたるものあり．

b 種のものはカポールにては柾目面に水平の龜裂を示し木口に約 50～60° の傾斜せる龜裂を示せる層向が幹軸方向の辷り面を生じた．ターペンタインにてはカポールと同種の龜裂が多數に表はるゝと同時に，これと共軛せる多數の辷り面を交へ破壞狀況甚だ複雜なり．

c 種試片はカポールは年輪に沿ひたる竪割れを示せるに反し，ターペンタインはカポールの b 種試片と類似の龜裂を示し，其辷り面は層向に幹軸方向を有し，傾斜角 50～60° なり．

（9） **飽水狀態壓縮强さ**　試片製作後これを水中に浸し，其空中重量が增加を示さゞるに至れるときを飽水狀態と見做して壓縮試驗を行ひたり，平均含水率 72～76% なり．a 種試片の壓縮强さは絕對乾燥狀態のもの > 1/3 に過ぎず，第 6 表は其試驗成績を示す．

第 6 表　飽水狀態壓縮試驗成績

（1）　カ ポ ー ル

試片番號	壓縮方向	試片寸法 (cm) 長	幅	高	斷面積 (cm²)	含水率 (%)	年輪方向 α	最大荷重 (kg)	壓縮强さ (kg/cm²)
C—a_1	(A)	4.98	5.00	5.00	24.9	72.3	—	10 500	422
C—a_2		4.97	4.98	5.00	24.7	71.6	—	10 300	417
C—a_3		5.04	5.06	4.97	25.5	72.1	—	10 600	416
平　均						**72.0**			**418**
C—b_1	(R)	5.06	5.00	5.01	25.3	75.9	10	2 650	105
C—b_2		5.00	5.04	5.00	25.2	75.6	10	2 600	103
C—b_3		5.00	5.02	5 00	25.1	76.3	5	2 600	104
平　均						**75.9**			**104**
C—c_1	(T)	4.98	5.00	5.00	24.9	71.4	80	3 800	152
C—c_2		4.98	5.00	5.01	24.9	72.6	75	3 250	130
C—c_3		5.00	5.02	5.01	25 1	75.3	80	3 400	135
平　均						**73.1**			**139**

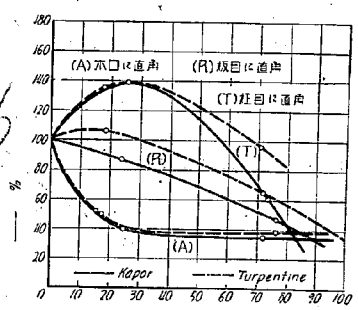
（2）　ターペンタイン

試片番號	壓縮方向	試片寸法 (cm) 長	幅	高	斷面積 (cm²)	含水率 (%)	年輪方向 α	最大荷重 (kg)	壓縮强さ (kg/cm²)
C—a_1	(A)	5.03	5.03	5.02	25.3	76.4	—	10 500	415
C—a_2		5.00	5.02	5.01	25.1	76.3	—	10 300	410
C—a_3		5.04	5.02	5.01	25.3	76.8	—	10 600	419
平　均						**76.5**			**415**

C−b_1		5.02	5.00	5.01	25.1	72.6	15	1 700	68
C−b_2	(R)	5.02	5.06	5.00	25.4	72.6	15	1 600	63
C−b_3		5.01	5.04	5.00	25.3	70.5	10	1 700	67
平均						**71.9**			**66**
C−c_1		5.02	5.02	5.06	25.2	72.4	75	2 000	79
C−c_2	(T)	5.02	5.02	5.00	25.2	71.7	80	2 150	85
C−c_3		5.00	5.05	5.05	25.3	72.1	70	2 150	85
平均						**72.1**			**83**

各試片の破壞狀況は前揭氣乾狀態のものと大同小異にして特記すべき事項なし.

(10) 壓縮方向竝に含水率の相違による壓縮强の變化 a 種試片の强さ，卽ち木口に直角の方向の壓縮强さが纖維飽和點以下の含水率にて急激なる變化を示し，飽和點以上にては殆んど變化を生ぜざることは旣知の事實なり．前項の試驗成績に於ても絕對乾燥の場合の强度を 100 とし，各種含水率の場合の壓縮强を表はすとき第 13 圖の（A）—曲線にて示し得べく，カポール，ターペンタイン兩材に對する曲線殆んど一致せり．



第 13 圖 壓縮强と含水率との關係

板目又は柾目に直角の方向の壓縮强は木口に直角の場合の如く含水率と特異なる關係なく纖維飽和點の如きものを認め難し．この實驗の結果に現はれたるところにては兩壓縮强さとも含水率 15～30% の間に於て最大値を示せるも，これをもつて一般的木材の傾向とは斷じ難し．第 13 圖（R）及（T）—曲線はこれを示せるものにして，カポール，ターペンタイン兩材とも略ゝ同樣の傾向を現はせり．

次に 3 方向の壓縮强さの比率を求むるに，各壓縮强さが含水率に影響さるゝ程度を異にするが故に，其數値は含水率の多少によつて相違せり．第 7 表は木口に直角の壓縮强さを 100 とせる場合の，他の强さの比率なり．

第 7 表 加壓方向による壓縮强の變化

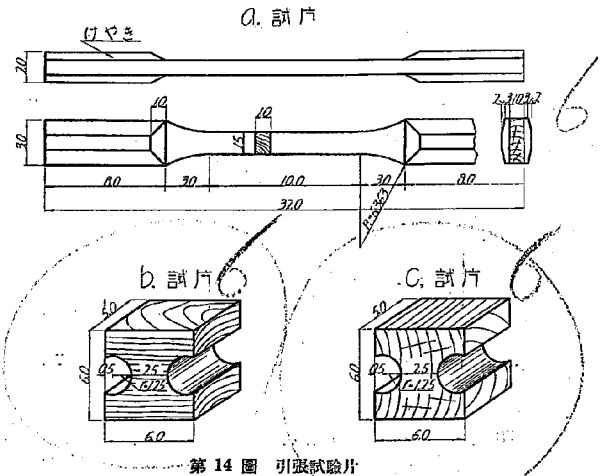
	カポール			ターペンタイン		
	絕對乾燥	氣乾	飽水	絕對乾燥	氣乾	飽水
木口に直角（A）	100	100	100	100	100	100
板目に直角（R）	18	41	25	10	20	16
柾目に直角（T）	19	66	33	9	25	20

IV 引張試驗

(11) 試片竝に試驗方法 引張試驗は木材試驗中最も困難なるもの一つなり，試驗を木口に直

角の方向，板目並に柾目に直角の方向の3種に分ちたること壓縮强さの場合と同様なり．木口に直角の方向に對しては絶對乾燥，氣乾，飽水の3狀態につき，後の2者に對しては氣乾狀態のみの試験を行ひたり．

試片の形狀は第 14 圖の如くにして木口に直角，卽ち幹軸方向の引張試驗用のものは，平行部斷面 1.0×1.5 cm，同長 10.0 cm とし其兩端にて把握部を附したり，試片母材の厚さは一體に 1.0 cm とし，把握部には試驗中この部分の壓挫による切斷を避けんがために樫の薄片を貼付けたり，實驗の結果によるにこの薄片の中央部の膨みは幾分過度のきらいありたり．



第 14 圖　引張試驗片

板目並に柾目に直角の方向の引張試驗片は其形狀方法を大體 A. S. T. M の規定に據りたり．

(12) 幹軸方向の引張强さ　試片の乾燥方法，浸水飽和の程度は壓縮試驗の場合と同様なり，第8表は試驗成績を示す．

第 8 表　引張試驗成績（幹軸方向）

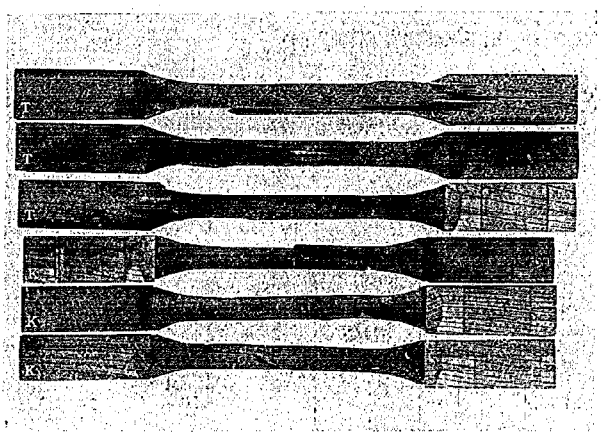
（1）　カ　ポ　ー　ル

試片番號	乾燥狀態	試片寸法 (cm) 厚	幅	斷面積 (cm²)	含水率 (%)	最大荷重 (kg)	引張强さ (kg/cm²)	摘要
A−a_1	絶對乾燥	0.83	1.39	1.15	0	670	(583)	把握部切斷
A−a_2	〃	0.85	1.35	1.15	0	1 230	(1 070)	
A−a_3	〃	0.93	1.44	1.33	0	770	(579)	把握部切斷
平均								
B−a_1	氣乾	0.94	1.46	1.37	12.1	1 770	1 290	
B−a_2	〃	0.92	1.46	1.34	13.2	1 800	1 340	
B−a_3	〃	0.91	1.46	1.33	12.1	1 740	1 310	
平均							1 310	
C−a_1	飽水	1.01	1.55	1.57	67.5	1 020	650	
C−a_2	〃	1.00	1.52	1.52	76.1	1 240	816	
C−a_3	〃	1.02	1.52	1.55	78.2	950	613	
平均							693	

(2)　ターペンタイン

試片番號	乾燥狀態	試片寸法 (cm) 厚	幅	斷面積 (cm²)	含水率 (%)	最大荷重 (kg)	引張強さ (kg/cm²)	摘要
A−a_1	絕對乾燥	0.92	1.40	1.28	0	1 120	(875)	竪割
A−a_2	〃	0.92	1.46	1.34	0	920	(687)	同
A−a_3	〃	0.93	1.42	1.31	0	1 020	(779)	同
平均								
B−a_1	氣乾	0.95	1.49	1.42	10.2	1 750	1 240	
B−a_2	〃	0.96	1.49	1.43	11.0	1 500	1 050	
B−a_3	〃	0.95	1.50	1.43	10.4	1 640	1 150	
平均							1 150	
C−a_1	飽水	1.04	1.55	1.61	72.0	1 230	764	
C−a_2	〃	1.05	1.48	1.55	76.4	1 270	820	
C−a_3	〃	1.03	1.52	1.57	65.6	1 380	879	
平均					71.3		821	

第8表の成績表によるに兩材とも絕對乾燥時の強さ最も弱し，斯くの如き結果は通例豫期し得ざるところにして，其據つて來る原因は絕對乾燥材の示せる大なる割裂性による竪割にありと認む．卽ちカボール材にては A−a_2 試片以外は把握部が竪割して平行部に切斷起らず．ターペンタインにては全試片皆，試片全體が竪割れを生じ，木口に直角の方向の引張强を與ふるが如き切斷を示しをらず，從つて第8表中絕對乾燥材の强度はこれをもつて幹軸方向の引張强度とは認め難し．



第 15 圖　氣乾狀態引張試片の切斷狀況
(K−カボール材)(T−ターペンタイン材)

氣乾狀態の試片の切斷は孰れも平行部分に起り，其切斷狀況はカボールが比較的單純なる切口を示せるに對し，ターペンタインのものは著しく交叉狀を現はせり，第 15 圖はこれ等の切斷狀況を示す．

飽水狀態試片の切斷は大體氣乾狀態のものと大差なし．

含水率による强さの變化を見るにカボールに於て，飽水狀態のものは氣乾のものゝ約 52%，ターペンタインに於て約 71% の强さを示せるに過ぎず．

(13) 幹軸に直角の方向の引張强さ　試片は既述の如く板目に直角と柾目に直角との2種に區別す．兩種とも同一寸法を用ひたり(第 14 圖)．氣乾狀態につきて行ひたる試驗成績第9表の如し．

第 9 表　引張試驗成績（幹軸に直角方向）

(1)　カ　ポ　ー　ル

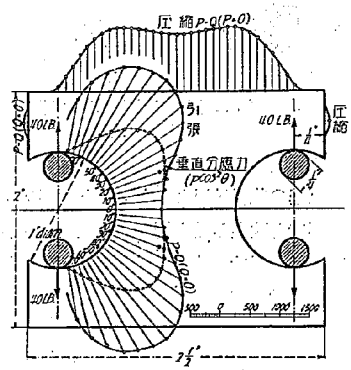
試片番號	引張方向	試片寸法 (cm) 厚	幅	斷面積 (cm²)	含水率 (%)	最大荷重 (kg)	引張强さ (kg/cm²)	摘　要
B−b_1	(R)	4.60	2.50	11.5	17.5	1 600	139	
B−b_2		4.60	2.50	11.5	16.6	1 770	154	
B−b_3		4.55	2.50	11.4	17.1	1 830	160	
平　均					**17.1**		**151**	
B−c_1	(T)	5.00	2.35	11.8	18.5	670	57	
B−c_2		5.00	2.30	11.5	17.2	830	72	
B−c_3		5.00	2.35	11.8	17.8	830	70	
平　均					**17.8**		**66**	

(2)　ターペンタイン

試片番號	引張方向	試片寸法 (cm) 厚	幅	斷面積 (cm²)	含水率 (%)	最大荷重 (kg)	引張强さ (kg/cm²)	摘　要
B−b_1	(R)	4.75	2.50	11.9	15.1	1 170	98	
B−b_2		4.80	2.50	12.0	15.7	1 040	87	
B−b_3		4.75	2.50	11.2	15.0	1 240	104	
平　均					**15.3**		**96**	
B−c_1	(T)	5.00	2.45	12.3	16.0	470	38	
B−c_2		5.00	2.40	12.0	15.9	550	46	
B−c_3		5.00	2.45	12.3	15.6	490	40	
平　均					**15.8**		**41**	

上記の諸試片の切斷狀況につきて特記すべき問題は，板目に直角並に柾目に直角の兩方向の試片は孰れも其破壞が最小斷面の部分に起りたるもの尠く，圓形切込み部の 1/3 點附近に生じたるもの多し．この理由は試片の形狀の不適に基因するものにして，切込み部の緣應力が，最小斷面の部分にて最大ならず．中心より 35°～50° 距りたる點に發生するためなりと認む．

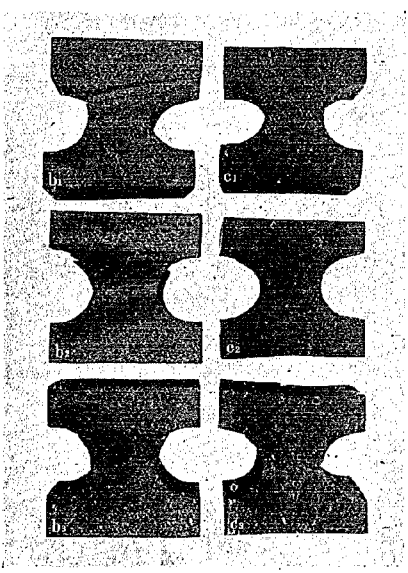
第 16 圖は E. G. Coker 並に G. P. Coleman が本試驗に供したる試片と略ゝ同寸法の試片につき光彈性實驗によつて求めたる緣應力分布圖にして切込み部の分布狀況を見るに緣應力の最大は中央部より約 50° の點に生じ，其垂直面應力の最大は約 35° の點に起れり．この



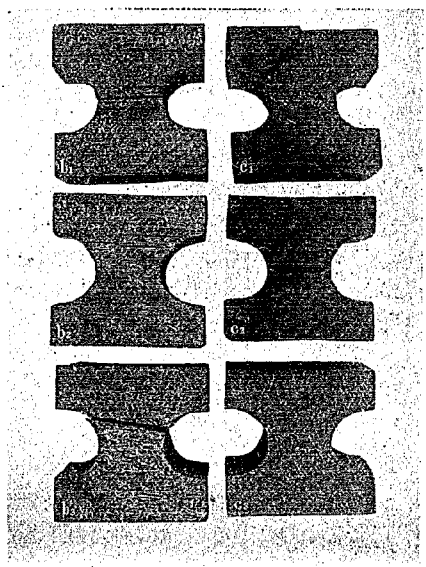
第 16 圖　引張試片の緣應力分布圖
(E. G. Coker)

結果を本試驗の試片破壞狀況と比較するに極めてよく合致せるを知る．卽ち板目に直角の方向の引張試片は中央部にて切斷せるターペンタインの一試片を除くのほか，兩材試片皆 50° 附近より年輪に沿ひて切斷し，柾目に直角の方向の引張試片は略ゝ類似の角度より切込圓弧に垂直の方向に年輪を橫切りて龜裂を發生せり，兩試片にて龜裂の發生せる緣部の位置はほゞ一致せるも龜裂の方向の全く異れるは，前者が年輪に沿ひて最弱層を有せるに對し，後者は年輪配置上より見て最弱部と考へらるゝ切込み側部に最大緣應力の發生せる關係上，前者に比して遙かに低荷重にて，先づ切込み周圍に垂直に龜裂を生じ，然る後に其方向を荷重に垂直なる年輪半徑方向に轉じたるものと認む．

第 17 圖，第 18 圖はこの試片の破壞狀況を示す．



第 17 圖　引張試驗片切斷狀況
カポール材(氣乾)



第 18 圖　引張試驗片切斷狀況
ターペンタイン材(氣乾)

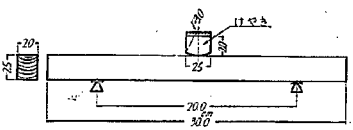
上記の龜裂狀況より考ふるとき第9表揭載の引張强度は試驗成績として上々のものにあらず，試片の形狀を改良し最小斷面にて最大應力の發生するものに改めて再試驗を要するものと思考するも，試料の關係と形狀の改良につきて充分なる考究を要する點に鑑み，試驗に於ては第9表の成績をもつて假りに幹軸に直面の方向の引張强とす．

試片形狀の改良は，先づ切込部の 1/8 點附近に生ずる最大緣應力の除去にあり，これが發生の原因が試片上下の厚さ薄きに過ぎ荷重によつて左右突出部に曲げ應力を生ずることにありと信ず．從つてこれが對應策としては底部の厚さの增加を必要とするも其程度に關して，更に別箇の研究を必要とす．

V 曲げ試験

(14) 試片並に試験方法　曲げ試験に用ひたる試片の製作寸法は斷面 2.0 cm×2.5 cm，長 30.0 cm なり．試驗時の寸法は試片の乾燥收縮のため幾分の狂ひを生じたり．

曲げ試驗の支間は 20.0 cm とし，板目を水平にをき，年輪は髓心が上部にあるが如き位置におきたり．荷重は中央集中荷重とし載荷點には $r=3.0$ cm の弧形を有する支承材，兩側支點には鐵板を配し，試片の壓挫に備へたり．試驗は兩材とも，絶對乾燥，氣乾，飽水の 3 狀態につきて行ひたり．第 19 圖は試片並に載荷狀況を示す．



第 19 圖　曲げ試驗片

曲げ强さの算出は，破壞時まで $f=\frac{M}{z}$ が適用し得るものとして次式によりたり．

$$f=\frac{M}{z}=5P\times\frac{6}{bh^2}=\frac{30P}{bh^2}\text{ kg/cm}^2$$

$$M=\frac{P\cdot l}{4}=\frac{P\times 20}{4}=5P$$

$$z=\frac{bh^2}{6}$$

(15) 曲げ强さ　第 10 表は上式によつて算出したる各種乾燥狀態に於ける曲げ强さ f を示す．

第 10 表　曲 げ 試 驗 成 績

(1)　カ ポ ー ル

試片番號	乾燥狀態	斷面 (cm) 幅	斷面 (cm) 厚	含水率 (%)	最大荷重 (kg)	曲げ强さ (kg/cm²)
A_1	絶對乾燥	1.75	2.30	0	374	1 210
A_2	〃	1.72	2.26	0	500	1 710
A_3	〃	1.74	2.33	0	458	1 450
平均						
B_1	氣乾	1.68	2.27	10.3	480	1 670
B_2	〃	1.68	2.34	10.5	478	1 560
B_3	〃	1.63	2.26	10.1	450	1 620
平均				10.3		1 620
C_1	飽水	2.04	2.51	60.7	420	976
C_2	〃	2.04	2.51	61.9	384	894
C_3	〃	2.04	2.50	69.3	412	966
平均				64.0		945

(2) ターペンタイン

試片番號	乾燥狀態	斷面 (cm) 幅	斷面 (cm) 厚	含水率 (%)	最大荷重 (kg)	曲げ强さ (kg/cm²)
A_1	絕對乾燥	1.76	2.38	0	570	1 710
A_2	〃	1.82	2.39	0	618	1 780
A_3	〃	1.83	2.39	0	636	1 820
平均						1 770
B_1	氣乾	1.83	2.37	10.6	512	1 490
B_2	〃	1.83	2.35	10.6	471	1 400
B_3	〃	1.83	2.37	10.4	492	1 430
平均				10.5		1 440
C_1	飽水	2.05	2.52	66.3	380	877
C_2	〃	2.02	2.52	59.6	422	990
C_3	〃	2.03	2.51	61.4	372	872
平均				62.4		913

試片の破壞はカボールにては孰れの乾燥狀態のものも緣部の單純引張 (simple tension) 切斷により壓縮側には認めらる程度の挫潰なし. ターペンタインにては絕對乾燥及氣乾狀態の試片の破壞は最大緣應力の發生すべき中央部に起らず, 端部又は端部附近より水平剪斷されたるが如き傾向のもの多し, 飽水狀態のものゝ破壞は緣部の單純引張切斷による. 壓縮の挫潰を認めらるもの多し. 殊に飽水狀態のものは顯著なり.

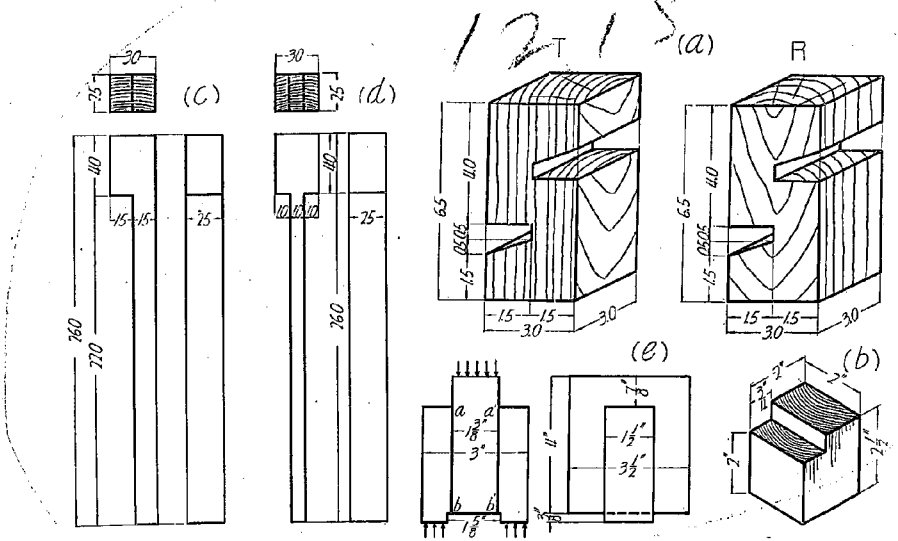
含水率の變化に伴ふ曲げ强さの變化は木口に直角の壓縮の場合ほど著しからず. 兩材とも絕對乾燥狀態のものを 100 とせば, 氣乾のもの 80～90 飽水のも 50～60 程度なり.

VI 剪斷試驗

(16) 試片竝に試驗方法 剪斷試驗片は斷面 3 cm 平方, 高 6.5 cm の角塊に第 20 圖 (a) 指示の切込みを附し Z 型とせるものにして, 試片の主軸を幹軸に平行ならしめ, 剪斷部は其方向を年輪半徑 (R) と年輪切線 (T) との 2 種に分類せり. 試片は各 2 個宛とし, 絕對乾燥, 氣乾, 飽水の 3 狀態につき試驗を行ひたり.

木材剪斷試驗片の形狀は A. S. T. M の定めたるものは第 20 圖 (b) の階段形にして剪斷に際して曲げ應力の加味さるる傾向著しきが故にこれが採用を避けたり. 類似の傾向を有する試片形に第 20 圖 (c) (d) あり孰れも剪斷試片として面白からず, 第 20 圖 (e) は震災豫防調査會報告第 55 號所載試片にして故井口在屋博士の考察になるものなり. 其破壞狀況は良好なるも試片の製作に手數を要するを缺點とす.

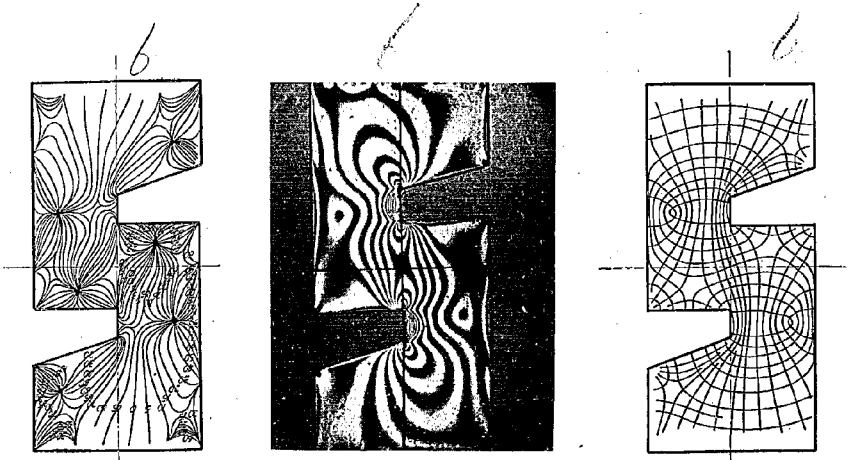
本試驗に用ひたるものは航空研究所使用の試片形に準じたるものなり. 試片の破壞狀況より見て, 又其製作の容易なる點より見て, 大體無難なる形狀を有するものと認むるも, 其切斷面に於ける剪斷



第 20 圖　剪斷試驗片

應力の分布につきては研究の餘地あるものと認む.

第 21 圖は本試驗に用ひたる剪斷試片の載荷に當りこの應力分布狀態をフエノライト試片による光彈性實驗によりて求めたる結果なり. (a) (b) (c) は夫々等傾曲線, 等明曲線及主應力線を示せり. 剪斷面 に於て純剪斷應力の作用する場合, この線に沿ひこの主應力線は 45° の傾斜を有すべし. 然



(a) 等傾曲線　(b) 等明曲線　(c) 主應力線

第 21 圖　木材剪斷試片應力分布圖

るに供試體につきての實驗の結果は 18° にして兩者の間に著しき懸隔あり，又主應力線の傾斜は兩端にむかつて漸次に 45° に近づき，更に端部附近に至りて急激に增大す．今これを等明曲線の變化と相俟つて考ふるとき剪斷應力が端部にむかつて漸次增加して且最大値に達し，再び減少端部にて零となるものと考へられ，切斷面に於ける剪斷應力の不均一を示せり．且つ剪斷面兩端は試片の凹形切込みの隅角に位するが故緣應力の集中著しきことは等明曲線によつて明かなり，抑も剪斷强さの試驗片としては其切斷面に於てはなるべく純剪斷に近き應力發生し，且つ出來得る限り剪斷應力の均一分布を理想とす．これ等の點より見るとき木材剪斷試片の形狀に關しては尙研究の餘地あるものと信ず．

(17) 剪斷强さ　第 20 圖 (*a*) の試片を用ひて行ひたる剪斷試驗成績第 11 表の如し．

第 11 表　剪 斷 試 驗 成 績

(1)　カ ポ ー ル

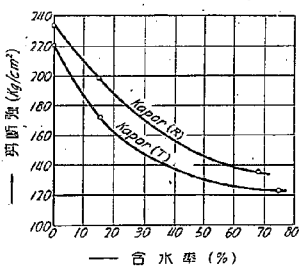
試片番號	剪斷方向	乾燥狀態	斷面 (cm) 幅	斷面 (cm) 厚	斷面積 (cm^2)	含水率 (%)	最大荷重 (kg)	剪斷强さ (kg/cm^2)
A−a_1	R	絕對乾燥	2.78	1.52	4.23	0	930	220
A−a_2			2.78	1.50	4.17	0	615	147*
平 均								
B−a_1	R	氣 乾	2.90	1.54	4.47	16.5	814	182
B−a_2			2.93	1.55	4.54	15.7	736	167
平 均						**16.1**		**172**
C−a_1	R	飽 水	3.02	1.53	4.62	76.2	537	116
C−a_2			3.02	1.52	4.59	73.8	593	130
平 均						**75.0**		**123**
A−b_1	T	絕對乾燥	2.75	1.50	4.13	0	950	230
A−b_2			2.74	1.52	4.16	0	990	238
平 均								**234**
B−b_1	T	氣 乾	2.84	1.50	4.26	14.9	792	186
B−b_2			2.79	1.51	4.21	16.6	892	212
平 均						**15.8**		**199**
C−b_1	T	飽 水	3.17	1.54	4.88	69.9	652	134
C−b_2			3.12	1.53	4.77	66.6	648	136
平 均						**68.3**		**135**

(2)　タ ー ペ ン タ イ ン

試片番號	剪斷方向	乾燥狀態	斷面 (cm) 幅	斷面 (cm) 厚	斷面積 (cm^2)	含水率 (%)	最大荷重 (kg)	剪斷强さ (kg/cm^2)
A−a_1	R	絕對乾燥	2.84	1.52	4.32	0	660	153
A−a_2			2.85	1.55	4.42	0	512	116
平 均								**135**

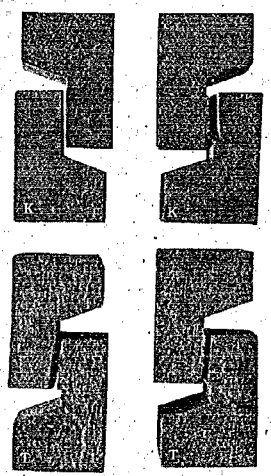
B−a_1	R	氣乾	2.95	1.52	4.48	15.4	281	63
B−a_2			2.95	1.55	4.57	16.4	53	11*
平均								
C−a_1	R	飽水	3.01	1.54	4.63	84.8	337	73
C−a_2			3.02	1.54	4.65	85.1	439	94
平均						85.0		84
A−b_1	T	絕對乾燥	2.70	1.50	4.05	0	555	137
A−b_2			2.68	1.55	4.15	0	480	116
平均								127
B−b_1	T	氣乾	2.87	1.55	4.45	14.7	653	147
B−b_2			2.86	1.55	4.43	14.6	625	141
平均						14.7		144
C−b_1	T	飽水	3.05	1.55	4.73	75.7	562	119
C−b_2			3.03	1.52	4.61	77.7	292	63
平均						76.7		

備考　剪斷强さに※印を附したるものは試片に缺陷ありたるものなり



第 23 圖　カボール剪斷强と含水率との關係

各試片とも其破壞は最小剪斷面に起れり．第 22 圖は破壞狀況の一例を示す．剪斷强さの含水率に伴ふ變化はカボールに對しては比較的規則的なる關係を求め得たるもターペンタインにつきての結果は甚だ不規則なり，第 23 圖はカボールにつきての兩者の關係を示せるものなり．



第 22 圖　剪斷試片破壞狀況
(K—カボール材)(T—ターペンタイン材)

VII 硬　さ

(18) 試片並に試験方法　硬さの測定はブリネル法によりたり．試験は兩材とも木口面につきてのみ行ひ，絶對乾燥，氣乾，飽水の3狀態につきて其變化を求めたり．板目及柾目に對する硬さは測定困難にして正確なる數値を得難し，試片には甲號壓縮試片と同形 5.0cm 立方のものを用ひたり．

硬さ H の算出は次式による

$$H=\frac{2P}{\pi D(D-\sqrt{D^2-d^2})}=\frac{P}{\pi Dt}$$

茲に　P 荷重(kg)，　D 鋼球徑 (mm)；

d 凹みの直徑 (mm)，　t 凹みの深さ (mm)．

本試驗にては $D=10$ mm，$P=100$ kg を採り約 3 分間の時間を見込みたり．

凹みの表面積算出には上式の如く深度 t による法と，凹みの直徑 d による法とあり．本實驗にては比較的測定容易にして且つ正確なる結果を得易き後者を用ひたり．

(19) 硬さ　第 12 表は上記の方法によつて求めたる試驗成績なり，各數値とも 10—15 回の測定値の平均とす．

第 12 表　硬さ試驗成績表

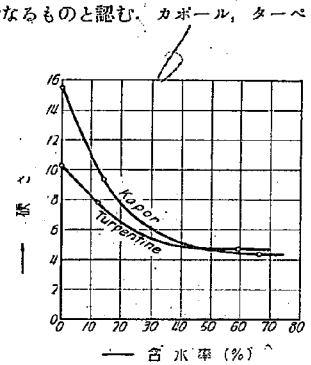
(1)　カ ポ ー ル

試片番號	乾燥狀態	含水率	硬　さ
A_1	絶對乾燥	0	15.51
B_2	氣　乾	14.2	9.38
B_3	〃	14.2	9.33
平　均		14.2	9.36
C_4	飽　水	67.0	4.36
C_5	〃	66.3	4.41
平　均		66.7	4.39

(2)　タ ー ペ ン タ イ ン

試片番號	乾燥狀態	含水率	硬　さ
A_1	絶對乾燥	0	11.13
B_3	氣　乾	12.6	7.73
C_4	飽　水	64.8	4.23
C_5	〃	55.8	5.19
平　均		59.9	4.71

硬さの含水率による變化は極めて規則的なり．其大體の傾向は第 24 圖の如くにして纖維飽和點附近までの變化急激にして其後の硬さ減少は僅少なるものと認む．カポール，ターペンタイン兩材を比較するに，絶對乾燥に於ける硬さは前者が 15.5，後者 11.1 にして約 40% の差あるも，含水率の增加と共に其差を減じ，飽水狀態にては兩者の間に相違を認め難し．



第 24 圖　硬さと含水率との關係

VIII 彈 性 率

(20) 測定方法　木材の彈性率は壓縮，引張，曲げによりて夫々異なる値を有するものと近似せる値を有するものとあり，又其載荷の方向により或は含水率の如何によりて著しき變化を示すを常とす．よつて本試驗に於ても兩材夫々につき壓縮，引張，曲げの3狀態に於ける彈性率を求め，各の場合につき含水率の影響を明かならしむると共に，壓縮に對しては壓縮方向による彈性率の變化を求めたり．

彈性率の測定は直應力による變形を基とする場合と，曲げによる場合と其方法を異にす．

α) 直應力による彈性率の測定　先づ試片上に L なる標點距離をとり，これが載荷による變形をミラー・エキステンソメーターによつて測定し，E の算出をなしたり．

變形測定には先づ荷重を一定の基本荷重 P_0 に達せしめ，この時の變形を基準とし，これより追次一定荷重 P を累加し，P_0+P, P_0+2P, $\cdots P_0+mP$ 毎に各段階の P に對する變形量を求めたり．而して各荷重段階毎に荷重は一旦 P_0 まで戻し，殘留變形を求めてこれを前記變形量より控除したり．

觀測は常に試片の左右にて對稱に行ひたるが故に n 回の觀測によりて $2n$ 箇の觀測値を得．今 Z を各荷重段階の變形量に對するテンソメーターの讀み數 cm にて示したるものとすれば，テンソメーターの倍率 500 なるが故に n 回の觀測による各荷重段階の平均變形量は

$$Z_m=\frac{\Sigma Z}{2n\times 500}=\frac{\Sigma Z}{1000n}(\text{cm})$$

にて示さる．今試片の斷面積を A とすれば，求むる彈性率は

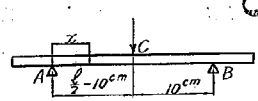
$$E=\frac{\frac{P}{A}}{\frac{Z_m}{L}}=\frac{n.P.L.10^3}{A}\cdot\frac{1}{\Sigma Z}\text{kg/cm}^2$$

$$=K\cdot\frac{1}{\Sigma Z}\text{kg/cm}^2$$

となる．

β) 曲げによる彈性率の測定　曲げ試片の中央に集中荷重を加へたるときの支承上にての桁の傾斜角の變化を測定して彈性率を求めんとするものにして，載荷は5噸の多能試驗機により，傾斜角の測定には支承點にて桁上面に油粘土にて取りつけたる鏡によりたり．

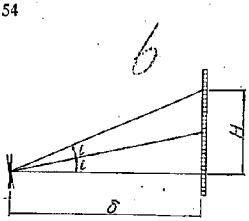
第 25 圖の曲げ試驗片を支間 l なる單純梁とし，梁が一定の慣性モーメントを有するものとすれば，載荷後の梁の任意の點 (x) の傾斜角は



第 25 圖　曲げ試驗片による E の測定

$$i=\frac{Pl^2}{4EI}\left[\frac{1}{4}-\left(\frac{x}{l}\right)^2\right]$$

にて示され，支點 $x=0$ にては $i=\frac{Pl^2}{16EI}$ となる，今支間 $l=20$ cm にとれば $i=\frac{25P}{EI}$ なり，又第 26 圖により傾斜角 i だけ傾きたる支點上の鏡による標尺の讀數を H とし，鏡と標尺との距離を δ とすれば $2i=\frac{H}{\delta}$ なるが故に $i=\frac{H}{2\delta}=\frac{25}{EI}P$ 從つて $E=\frac{50\delta}{IH}P$ となる．



第 26 圖

今載荷の方法を直應力による場合と同様により，基本荷重を P_0 各段階累加荷重を P とし，各段階毎に n 回の觀測を行ふものとし，殘留傾斜角の影響を差し引きたる毎回の讀みを H とせば，各荷重段階の平均値は $H_m=\frac{\Sigma H}{n}$ にて示さる，從つて $\delta=100$ cm の場合の彈性率は

$$E=\frac{50\times100P}{I}\cdot\frac{n}{\Sigma H}=\frac{5nP\times10^3}{I}\cdot\frac{1}{\Sigma H}=K.\frac{1}{\Sigma H}$$

となる．

(21) 壓縮による彈性率　壓縮による彈性率測定用試片には壓縮强さ試驗の乙號試片を使用せり，3.0×3.0×6.0 cm の角壔形にして，木口，板目，柾目の 3 種毎に 3 試片を使用し，氣乾狀態につきて測定を行ひたり．

變形測定に際しての基本荷重 $P_0=250$ kg 累加荷重 $P=250$ kg. 標點距離 $L=5$ cm にして荷重段階毎に $n=3$ 回の測定を行ひたり．

從つて，$E=K.\frac{1}{\Sigma Z}$kg/cm² の $K=\frac{n.P.L10^3}{A}$ の値は各試片につき第 13 表の値を有す．

第 13 表　K の 値

(a)　カ ポ ー ル

試片番號	壓縮方向	觀測回數 (n)	1 段階累加荷重 P (kg)	斷面積 A (cm²)	K
a_1	木口に直角	3	250	7.10	528×10^3
a_2	〃	〃	〃	7.02	534×10^3
a_3	〃	〃	〃	7.05	532×10^3
b_1	板目に直角	3	50	7.02	107×10^3
b_2	〃	〃	〃	7.02	107×10^3
b_3	〃	〃	〃	7.00	103×10^3
c_1	柾目に直角	3	50	7.00	107×10^3
c_2	〃	〃	〃	7.00	107×10^3
c_3	〃	〃	〃	7.02	107×10^3

(b)　タ ー ペ ン タ イ ン

試片番號	壓縮方向	觀測回數 (n)	1 段階累加荷重 P (kg)	斷面積 A (cm²)	K
a_1	木口に直角	3	250	8.38	447×10^3
a_2	〃	〃	〃	8.38	447×10^3
a_3	〃	〃	〃	8.35	449×10^3
b_1	板目に直角	3	50	8.46	88.6×10^3
b_2	〃	〃	〃	8.55	87.8×10^3
b_3	〃	〃	〃	8.52	88.0×10^3
c_1	柾目に直角	3	50	8.88	84.4×10^3
c_2	〃	〃	〃	8.88	84.4×10^3
c_3	〃	〃	〃	8.85	84.8×10^3

上記の係数 K の値を用ひて行ひたるカボール試片 a_1 の彈性率測定表第 14 表の如し.

第 14 表　カーボル試片 a_1

彈 性 率 測 定 表

荷重 kg	標尺上の讀數 第1回 左		第1回 右		第2回 左		第2回 右		第3回 左		第3回 右		總荷重に對する ΣZ 總縮	殘留縮	彈性縮	1段階の彈性縮 ΣZ	彈性率 $E=\frac{1}{K\Sigma Z}$
250		0		0		0		0		0		0					
500	0.67		0.48		0.65		0.49		0.66		0.48		3.43				
250		0.01		0.01		0.03		0.02		0.02		0.02		0.11	3.32	3.32	159×10^3
750	1.37		0.89		1.34		0.92		1.35		0.90		6.77				
250		0.01		0.03		0.01		0.05		0.02		0.04		0.16	6.61	3.29	161×10^3
1000	2.11		1.30		2.10		1.32		2.07		1.33		10.23				
250		0.04		0.04		0.01		0.03		0.03		0.04		0.19	10.04	3.43	154×10^3
1250	2.78		1.76		2.81		1.82		2.77		1.82		13.76				
250		0.01		0		0.02		0.03		0.01		0.03		0.10	13.66	3.62	146×10^3
1500	3.44		2.31		3.49		2.38		3.45		2.37		17.44				
250		0.01		-0.03		0.04		0.05		0.01		0.02		0.10	17.34	3.68	144×10^3
1750	4.10		2.86		4.14		2.91		4.12		2.93		21.06				
250		0.01		-0.05		0.02		-0.03		0.01		-0.02		-0.06	21.12	3.78	140×10^3
2000	4.74		3.48		4.81		3.52		4.80		3.49		24.84				
250		0.01		-0.08		0.03		-0.02		0.01		-0.04		-0.09	24.93	3.81	139×10^3
2250	5.41		4.08		5.48		4.07		5.46		4.09		28.59				
250		0.08		-0.02		0.04		-0.08		0.01		-0.09		-0.06	28.65	3.72	142×10^3

上述の方法によつて算出したる氣乾狀態のカボール，ターペンタイン兩材の壓縮に對する彈性率第 15 表の如し.

第 15 表　壓縮に對する彈性率

(a)　カ ボ ー ル

1.　木口に直角の壓縮

試片番號	荷重 (kg)	500	750	1000	1250	1500	1750	2000	2250	含水率(%)
a_1	單位應力 (kg/cm^2)	70.4	106	141	176	211	246	282	317	15.8
	彈性率 ($10^3 kg/cm^2$)	159	161	154	146	144	140	139	142	
a_2	單位應力 (kg/cm^2)	71.2	107	142	178	214	249	285	320	15.8
	彈性率 ($10^3 kg/cm^2$)	180	171	162	166	159	163	150	145	
a_3	單位應力 (kg/cm^2)	70.9	106	142	177	213	248	284	319	16.3
	彈性率 ($10^3 kg/cm^2$)	237	199	195	184	181	176	172	169	

2. 板目に直角の壓縮

試片番號	荷重 (kg)	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	含水率(%)
b_1	單位應力 (kg/cm²)	14.2	21.4	28.5	35.6	42.7	49.9	57.0	64.1	71.2	78.3	85.4	16.9
	彈性率 (10^3kg/cm²)	24.9	21.9	22.9	21.6	22.3	21.6	20.9	20.5	20.5	18.8	20.9	
b_2	單位應力 (kg/cm²)	14.2	21.4	28.5	35.6	42.7	49.9	57.0	64.1	71.2	78.3	85.4	16.7
	彈性率 (10^3kg/cm²)	21.1	20.4	21.1	19.7	21.3	20.9	20.4	19.2	19.8	20.5	—	
b_3	單位應力 (kg/cm²)	14.3	21.4	28.6	35.7	42.9	50.0	57.1	64.3	71.3	—	—	15.9
	彈性率 (10^3kg/cm²)	26.2	21.8	21.1	22.2	21.4	20.2	20.6	20.9	21.6	—	—	

3. 柾目に直角の壓縮

試片番號	荷重 (kg)	100	150	200	250	300	含水率(%)
c_1	單位應力 (kg/cm²)	14.3	21.4	28.6	35.7	42.9	15.5
	彈性率 (10^3kg/cm²)	11.9	11.8	11.9	11.2	12.2	
c_2	單位應力 (kg/cm²)	14.3	21.4	28.6	35.7	42.9	15.6
	彈性率 (10^3kg/cm²)	12.2	12.6	12.3	12.3	10.9	
c_3	單位應力 (kg/cm²)	14.2	21.4	28.5	35.6	42.7	15.5
	彈性率 (10^3kg/cm²)	11.9	12.2	11.6	12.4	10.9	

(b) タールペンタイン

1. 木口に直角の壓縮

試片番號	荷重 (kg)	500	750	1000	1250	1500	1750	2000	2250	2500	2750	含水率(%)
a_1	單位應力 (kg/cm²)	59.6	89.5	119	149	179	209	239	268	298	328	13.4
	彈性率 (10^3kg/cm²)	192	181	183	191	201	207	214	203	229	229	
a_2	單位應力 (kg/cm²)	59.6	89.5	119	149	179	209	239	268	298	328	13.7
	彈性率 (10^3kg/cm²)	263	242	233	226	230	186	276	222	217	214	
a_3	單位應力 (kg/cm²)	59.8	89.8	120	150	180	210	239	269	299	329	14.1
	彈性率 (10^3kg/cm²)	203	214	227	226	236	227	238	228	231	227	

2. 板目に直角の壓縮

試片番號	荷重 (kg)	100	150	200	250	300	350	含水率(%)
b_1	單位應力 (kg/cm²)	11.8	17.7	23.6	29.5	35.5	41.4	13.8
	彈性率 (10^3kg/cm²)	13.0	14.2	15.0	15.6	16.4	16.1	
b_2	單位應力 (kg/cm²)	11.7	17.5	23.4	29.2	35.1	40.9	13.2
	彈性率 (10^3kg/cm²)	28.3	26.2	24.5	24.4	23.4	22.1	
b_3	單位應力 (kg/cm²)	11.7	17.6	23.5	29.3	35.2	41.1	13.6
	彈性率 (10^3kg/cm²)	33.1	31.2	29.7	25.9	25.6	22.9	

3.　柾目に直角に壓縮

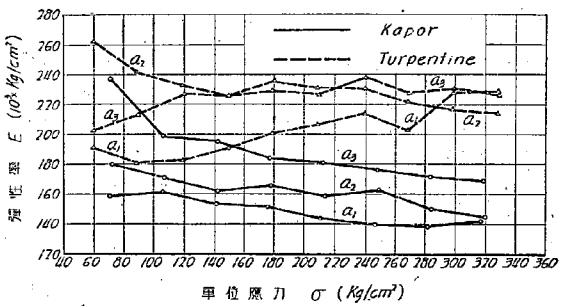
試片番號	荷　重（kg）	100	150	200	250	300	含水率(%)
c_1	單位應力 (kg/cm²)	11.3	16.9	22.5	28.1	33.8	13.9
	彈性率 (10^3kg/cm²)	8.86	9.49	8.96	8.61	8.93	
c_2	單位應力 (kg/cm²)	11.3	16.9	22.5	28.1	33.8	14.2
	彈性率 (10^3kg/cm²)	9.02	9.45	9.42	9.79	8.74	
c_3	單位應力 (kg/cm²)	11.3	17.0	22.6	28.3	33.9	14.0
	彈性率 (10^3kg/cm²)	9.44	9.00	9.55	9.68	9.33	

以上載荷各段階に於て Hooke の法則の成立するものと假定して算出せる彈性率の値は應力强度の增加と共に幾分減少するの傾向を示せり．第 27 圖及第 28 圖はこれが變化の狀態を示せるものなり．

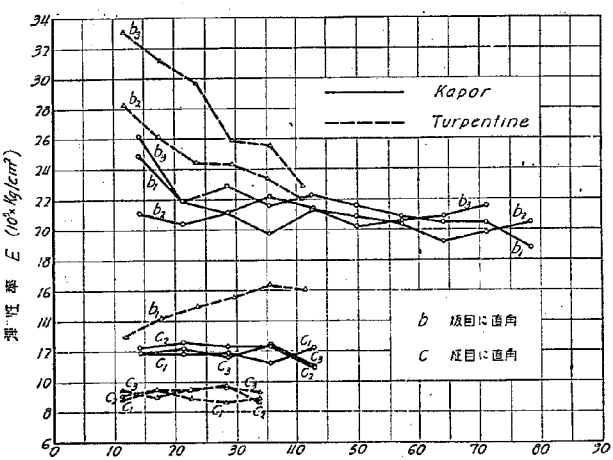
先づ木口に直角の壓縮による E を見るに兩材とも，試片毎に其値を異にし最大差 78×10^3 kg/cm² に達するものあるも，木材の本質上止むを得ざるものと認む．その値の應力强度の增加に伴ふ變化は大體各試片とも同一傾向にありと稱し得べく，殊に Kapor 材にては 3 試片とも極めて規則的の變化を示せり，今この 3 試片中の a_3 につきて Bach-Schule の法則が成立するものと假定し

$$\varepsilon=\alpha\sigma^{\beta}$$

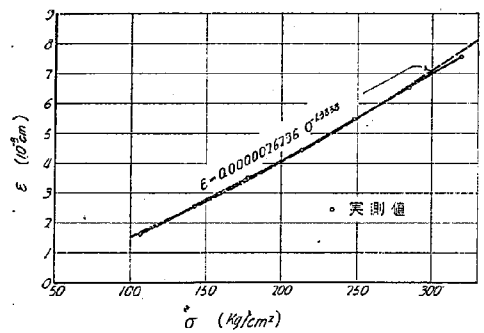
玆に ε は應力强度 σ に對する變形 α, β は定數



第 27 圖　壓縮による E と應力强度との關係（其一）



第 28 圖　壓縮による E と應力强度との關係（其二）



第 29 圖　Kapor a_3 號試片につきて E と σ との關係

の定數 α 及 β を求むるに次の値を得たり.

$$\alpha=0.0000026236\fallingdotseq\frac{1}{381,000}$$

$$\beta=1.3858$$

但し上式に於ては $\sigma>100$ とし，最低荷重の場合の一觀測値を省略したり．第 29 圖は其圖表にして式と觀測値との極めてよく一致せることを知り得べし.

板目に直角の壓縮に對する E はカポール材にては其變化少く，各試片とも $20<\sigma<80$ kg/cm² の範圍にて $E=20\sim22\times10^3$ kg/cm² を示せるも，ターペンタイン材にては各試片の觀測値著しく異るのみならず，應力强度による變化の傾向も甚しき相違ありてこれを一律に論じ難きも 3 試片中 2 試片は應力强度の增加と共に其値を減少せり.

柾目に直角の壓縮による彈性率の値は兩材とも應力强度の變化に關係なく一定値を示せり，卽ちカポール材にては $15<\sigma<45$ kg/cm² の範圍にて $E=12000$ kg/cm²，ターペンタイン材にては $10<\sigma<35$ kg/cm² の範圍にて $E=9000$ kg/cm² なり.

(22) 引張による彈性率　試片としては木口に直角の方向の引張試驗用のものを使用したり，斷面約 1.5×1.0 cm の矩形にして，乾燥狀態を絶對乾燥，氣乾，飽水の 3 に分ち，各狀態 3 個づゝの試片を用ひたり.

變形測定に用ひたる基本荷重 $P_0=100$（又は 50）kg，累加荷重 $P=50$（又は 25）kg．標點距離 $L=10.0$ cm にして，荷重段階毎に $n=2$ 乃至 3 回の觀測を行ひたり．$E=K\cdot\frac{1}{\Sigma\Delta}$ kg/cm² の係數 $K=\frac{n.P.L.10^3}{A}$ の値は各試片につき第 16 表の値を有す.

第 16 表　K　の　値

（a）　カ　ポ　ー　ル

試片番號	乾燥狀態	觀測回數 (n)	1 段階累加荷重 P(kg)	斷面積 A(cm²)	K
Aa_2	絶乾	3	50	1.15	1310×10^3
Aa_3	〃	〃	〃	1.33	1130×10^3
Ba_1	氣乾	2	50	1.37	730×10^3
Ba_2	〃	〃	〃	1.34	746×10^3
Ba_3	〃	〃	〃	1.33	752×10^3
Ca_1	飽水	3	50	1.57	954×10^3
Ca_2	〃	2	25	1.52	328×10^3
Ca_3	〃	〃	〃	1.55	322×10^3

（b）　ターペンタイン

試片番號	乾燥狀態	觀測回數 (n)	1段階累加荷重 P(kg)	斷面積 A(cm²)	K
Aa_1	絶乾	2	50	1.28	782×10^3
Aa_2	〃	2	〃	1.34	746×10^3
Aa_3	〃	3	〃	1.31	1150×10^3
Ba_2	氣乾	2	50	1.43	700×10^3
Ba_3	〃	2	〃	1.43	700×10^3
Ca_1	飽水	3	50	1.61	933×10^3
Ca_2	〃	2	25	1.55	322×10^3
Ca_3	〃	2	25	1.57	318×10^3

上述の如くにして求めたる兩材木口に直角の方向の引張に對する彈性率 E 第 17 表の如し.

第 17 表　引張に對する彈性率 (kg/cm²)

（a）　カ　ポ　ー　ル

1.　絶　對　乾　燥　狀　態

試片番號	荷重 (kg)	150	200	250	300	350	400	450	含水率(%)
Aa_2	單位應力 (kg/cm²)	130	174	217	261	304	348	391	0
	彈性率 (10^3kg/cm²)	196	204	201	200	198	192	202	
Aa_3	單位應力 (kg/cm²)	113	150	188	225	263	301	338	0
	彈性率 (10^3kg/cm²)	150	154	144	149	153	152	152	

2.　氣　乾　狀　態

試片番號	荷重 (kg)	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	700	750	800	含水率(%)
Ba_1	單位應力 (kg/cm²)	109	146	182	219	255	292	328	365	401	438	474				12.1
	彈性率 (10^3kg/cm²)	158	165	168	171	164	170	163	163	162	170	159				
Ba_2	單位應力 (kg/cm²)	112	149	187	224	261	298	336	373	411	448	485	522	560	597	13.2
	彈性率 (10^3kg/cm²)	166	176	170	171	173	170	173	170	164	166	176	165	162	166	
Ba_3	單位應力 (kg/cm²)	113	150	188	225	263	301	338	376	413	451	489	526			12.1
	彈性率 (10^3kg/cm²)	169	177	175	172	175	170	170	172	172	174	167	170			

3.　飽　水　狀　態

試片番號	荷重 (kg)	150	200	250	300	350	400	450	含水率(%)
Ca_1	單位應力 (kg/cm²)	96	127	159	191	223	255	287	67.5
	彈性率 (10^3kg/cm²)	126	129	128	129	125	127	126	

試片番號	荷重 (kg)	75	100	125	150	175	200	225	250	含水率 (%)
Ca_2	單位應力 (kg/cm²)	49	66	82	99	115	131	148	164	76.1
	彈性率 (10^3kg/cm²)	131	123	128	131	137	127	146	123	
Ca_3	單位應力 (kg/cm²)	48	65	81	97	113				78.2
	彈性率 (10^3kg/cm²)	109	111	106	115	119				

(b) ターペンタイン

1. 絕對乾燥狀態

試片番號	荷重 (kg)	150	200	250	300	350	400	450	500	550	含水率 (%)
Aa_1	單位應力 (kg/cm²)	117	156	195	234	273	312	352	391	430	
	彈性率 (10^3kg/cm²)	258	269	248	271	262	259	262	262	253	
Aa_2	單位應力 (kg/cm²)	112	149	186	224	261	298	336			
	彈性率 (10^3kg/cm²)	238	241	241	245	249	251	237			
Aa_3	單位應力 (kg/cm²)	114	153	191	229	267	305	343			
	彈性率 (10^3kg/cm²)	215	232	227	220	225	224	229			

2. 氣乾狀態

試片番號	荷重 (kg)	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	含水率 (%)
Ba_2	單位應力 (kg/cm²)	105	140	175	210	245	280	315	350	385	420	11.0
	彈性率 (10^3kg/cm²)	217	220	205	224	212	223	214	212	230	210	
Ba_3	單位應力 (kg/cm²)	105	140	175	210	245	280	315	350	385	420	10.4
	彈性率 (10^3kg/cm²)	224	211	205	214	227	210	221	215	213	216	

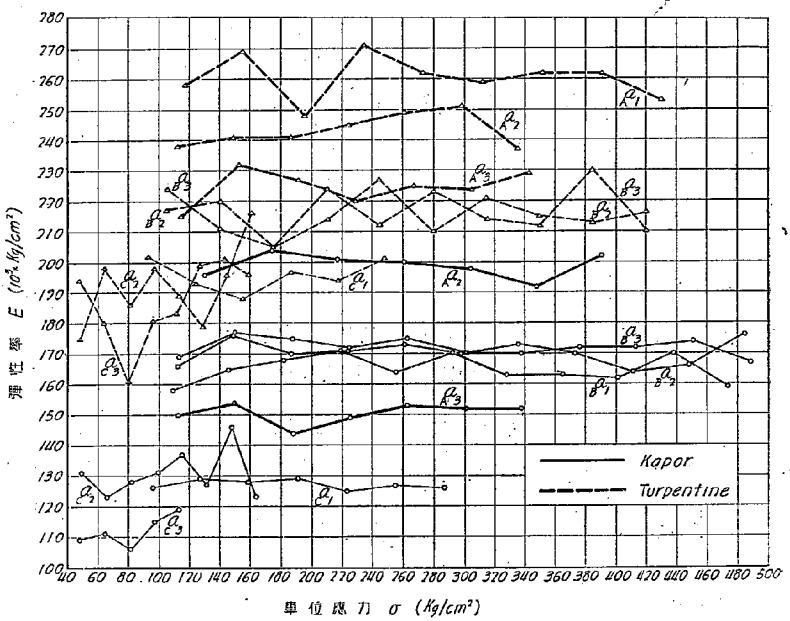
3. 飽水狀態

試片番號	荷重 (kg)	150	200	250	300	350	400	含水率 (%)
Ca_1	單位應力 (kg/cm²)	93	124	155	186	217	248	72.0
	彈性率 (10^3kg/cm²)	202	193	188	197	194	201	

試片番號	荷重 (kg)	75	100	125	150	175	200	225	250	含水率 (%)
Ca_2	單位應力 (kg/cm²)	48	64	81	97	113	129	145	161	76.4
	彈性率 (10^3kg/cm²)	175	198	186	198	189	179	196	216	
Ca_3	單位應力 (kg/cm²)	48	64	80	96	111	127	143	159	65.6
	彈性率 (10^3kg/cm²)	194	180	161	181	183	199	201	196	

以上の試驗結果によるに引張に對する彈性率は，兩材とも，壓縮に對するもの＞如く，應力强度の增減に伴ふ著しき變化を認めず，試片毎に其數値に大なる差異あるものは絶對乾燥材にして，其他の含水率のものは各試片とも略類似の値を示せり，含水率の增加は彈性率を低下せしむるもの＞如し．

絶對乾燥，氣乾，飽水の 3 狀態にて，カポール材の引張りの彈性率は 150～200×10³ kg/cm², 170×10³kg/cm², 125×10³ kg/cm², ターペンタイン材にて 230～260×10³ kg/cm², 210～220×10³kg/cm², 180～200×10³ kg/cm² と考へて大過なかるべし．



第 30 圖　應力强度の增減に伴ふ引張彈性率の變化

第 30 圖は實驗の結果に基き，彈性率と應力强度との關係を示せるものなり．

引張による彈性率を壓縮による彈性率に比較するに，木口に直角の方向にて氣乾狀態の材料につきては，兩材とも殆んど相違なし．

(23) 曲げによる彈性率　測定用試片には 2.0×2.5×30.0 cm の曲げ試驗用試片を用ひたり．氣乾及飽水の 2 狀態につき各 3 個の試片を用ひ，支間 l=20 cm．基本荷重 P_0=50 kg．累加荷重 P=25 kg．觀測回數 n=2 回とす．

彈性率 $E=R\frac{1}{\Sigma H}$ とし，係數 $R=\frac{5nP\times10^3}{I}$ の値第 18 表の如し．

第 18 表 R の 値

(a) カポール

試片番號	觀測回數 (n)	累加荷重 P(kg)	試片斷面 b	試片斷面 h	I	R
B_1	2	25	1.68	2.27	1.64	152×10^3
B_2	〃	〃	1.68	2.34	1.79	140×10^3
B_3	〃	〃	1.63	2.26	1.56	160×10^3
C_1	2	25	2.04	2.51	2.68	93.3×10^3
C_2	〃	〃	2.04	2.51	2.68	93.3×10^3
C_3	〃	〃	2.04	2.51	2.65	94.3×10^3

(b) タールペンタイン

試片番號	觀測回數 (n)	累加荷重 P(kg)	試片斷面 b	試片斷面 h	I	R
B_1	2	25	1.83	2.37	2.03	123×10^3
B_2	〃	〃	1.83	2.35	1.98	126×10^3
B_3	〃	〃	1.83	2.37	2.03	123×10^3
C_1	2	25	2.05	2.52	2.73	91.6×10^3
C_2	〃	〃	2.02	2.52	2.69	92.9×10^3
C_3	〃	〃	2.03	2.51	2.67	93.6×10^3

以上の如くにして計算せられたる曲げに對する彈性率第 19 表の如し.

第 19 表 曲げに對する彈性率 (kg/cm²)

(a) カポール

(1) 氣乾狀態

試片番號	荷重 (kg)	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	含水率 (%)
B_1	纖維應力 (kg/cm²)	261	348	435	522	609	696	783	870	958	1044	10.3
	彈性率 (10^3kg/cm²)	185	177	185	183	190	188	173	185	173	143	
B_2	纖維應力 (kg/cm²)	245	327	408	491	572	654	736	818	900	981	10.5
	彈性率 (10^3kg/cm²)	169	187	154	184	173	197	132	200	197	171	
B_3	纖維應力 (kg/cm²)	272	363	454	544	635	726	817	908	998	1089	10.1
	彈性率 (10^3kg/cm²)	180	180	182	178	170	178	174	160	190	151	

(2) 飽水狀態

試片番號	荷重 (kg)	75	100	125	150	175	200	225	含水率(%)
C_1	纖維應力 (kg/cm²)	176	235	294	353	411	470	529	60.7
	彈性率 (10^3kg/cm²)	146	153	133	150	126	130	139	
C_2	纖維應力 (kg/cm²)	176	235	294	353	411	470	529	61.9
	彈性率 (10^3kg/cm²)	105	96.2	91.5	99.3	101	77.1	104	
C_3	纖維應力 (kg/cm²)	178	248	298	357	416	476	536	69.3
	彈性率 (10^3kg/cm²)	100	98.2	92.4	98.2	95.3	97.2	86.5	

（b）　ターペンタイン

（1）　氣　乾　狀　態

試片番號	荷　重（kg）	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	含水率（%）
B_1	絲維應力（kg/cm²）	220	293	366	440	513	586	660	733	806	880	953	10.6
	彈性率（10^3kg/cm²）	195	181	192	171	202	189	184	205				
B_2	絲維應力（kg/cm²）	224	298	373	447	521	596	671	745	820	894	968	10.6
	彈性率（10^3kg/cm²）	185	197	197	183	194	210	183	203	197	200	189	
B_3	絲維應力（kg/cm²）	220	293	366	440	513	586	660	733	806	880	953	10.4
	彈性率（10^3kg/cm²）	192	237	212	208	216	212	198	220	224	202	205	

（2）　飽　水　狀　態

試片番號	荷　重（kg）	75	100	125	150	175	200	225	250	275	含水率（%）
C_1	絲維應力（kg/cm²）	172	230	287	345	402	460	517	575	633	66.3
	彈性率（10^3kg/cm²）	155	155	141	158	131	155	135	187	124	
C_2	絲維應力（kg/cm²）	175	234	293	351	410	468	527	585	644	59.6
	彈性率（10^3kg/cm²）	221	211	172	198	179	186	—	—	—	
C_3	絲維應力（kg/cm²）	177	236	295	354	413	472	531	590	650	61.4
	彈性率（10^3kg/cm²）	208	208	184	213	191	191	—	—	—	

曲げに對する彈性率は前揭の實測値より判斷するに，壓縮，引張に對する彈性率と大差なきことを知る．一試片につきての彈性率の變化の著しきは直應力による歪みの測定に比して曲げの傾斜角變化の測定が困難なることに基因す．應力强度の增加と共に曲げ彈性率の低下の傾向あるも顯著ならず．

彈性率が含水率の增加と共に著しく減少すること木口に直角の直應力の場合と同樣なり．

IX　要　　約

比重　カポールの比重約 1.0，ターペンタインの比重約 0.8 にして，前者の比重は赤樫類の夫れに匹敵し，內地產構造用材中最重の種類に相當す．ターペンタインは椙類に近似の値を有しカポールに比し稍輕し．

收縮率　兩材とも內地材に比し年輪切線方向の收縮極めて大なり，日本杉の約 2 倍の收縮率を示せり．年輪半徑方向の收縮はターペンタインにては內地材と大差なきも，カポールは切線方向と同樣に日本杉の 2 倍以上の收縮率を有す．

乾燥　カポール材は乾燥甚だ不良にして，これを氣乾狀態に達せしむるに可成の困難を感じたり．

壓縮强　氣乾狀態にて幹軸の方向の壓縮强はカポール約 640 kg/cm². ターペンタイン約 720 kg/cm² なり．この强度は本邦產構造用材中の最强種屬の平均强度に匹敵し，白樫，白樺類と同等或はそれ以上の强度なり．

加壓方向による壓縮强の變化は，含水量によりて著しく相違す．氣乾狀態のものにつきて見るに，

カボールにては板目竝に柾目に直角方向の強さは幹軸の方向の 40 竝 65% に過ず．ターペンタインの場合は更に低く 20 竝に 25% に達するのみなり．

引張強　氣乾狀態幹軸方向の引張強はカボールにて約 1300 kg/cm². ターペンタインにて 1100 kg/cm² なり．内地産木材にてカボールに匹敵する強度を有するものは櫟，白樫類のみにして甚だ稀なり．ターペンタインの強度は幾分劣り白樺，赤樫類と同等の強度を有するものと認む．

破壞狀況より見るときカボールに比しターペンタインは著しく割裂性に富むものと考へらる．

年輪半徑方向の引張強は幹軸方向の強のカボールにて 11～12%，ターペンタインにて 10%，年輪切線方向のもの 5% 及 4.5% 程度なり．

曲げ強　氣乾狀態の曲げ強はカボールにて 1620 kg/cm², ターペンタインにて 1440 kg/cm² にして内地材にて，これに對抗する引張強を有するもの殆どなし．

剪斷強　氣乾狀態年輪半徑方向の剪斷強はカボール約 170 kg/cm², ターペンタイン 60 kg/cm² 年輪切線方向のもの 199 及 144 なり．これを内地材に比較するに，ターペンタイン年輪半徑方向程度の強度を有するものは極めて多きも，其他の剪斷強に匹敵し得る材種稀なり．

硬さ　荷重 $P=100$ kg とせる場合の Brinell 硬度は氣乾狀態木口面にてカボール約 9.4. ターペンタイン 7.7 なり．$P=100$ kg に對する内地材の硬度に關する資料乏しきが故に，これ等と比較すること能はざるも二三の資料より判斷するに最硬の材種に相當する値なり．

彈性率　兩材とも氣乾狀態，幹軸方向の壓縮，引張，曲げに對する彈性率はほゞ近似の値を示せり．カボールにて $140\times$～200×10^3 kg/cm², ターペンタインにて 180～240×10^3 kg/cm² なり．獨逸産山毛欅につきて近似の彈性率の報告せられたるものあるも，本邦産の諸材につきての彈性率の値は $90\times$～160×10^3 kg/cm² 程度にして遙かに低し．

幹軸方向の壓縮に對する E は應力强度の增加と共に幾分減少する傾向明かなり．カボールの一試片につきて計算したるところにては歪と應力との間に $\varepsilon=\frac{1}{381,000}\sigma^{1.3858}$ の關係あり．年輪半徑方向の壓縮に對する E の應力度による變化は極めて僅少なり，年輪切線方向のものはほとんど一定値を有す．

以上の諸點を鑑るに，カボール，ターペンタイン兩材とも各種强度に於ては内地産諸材を遙かに凌駕するものと認めらるも，其密度の大なることに基因する收縮率の著しきことと，カボールにて乾燥の甚しく困難なること等は兩材の一大缺點と云ふべく，本材利用に際して特に考慮を要する問題なりと信ず．

附記　要約中に揭げたる内地木材の强度は主として大藏省臨時議院建築局の調査資料によりたり．從つて其試驗方法が著者の方法と異るものあり．木材强度比較に當りては試驗方法の相違が試驗結果に及ぼす影響につきて考慮を拂ふを要當とするが故に著者の決論に幾分の訂正を要する點あらんも大勢を變ぜしむる程度のものにあらざることを信ず．

こゝに本試驗の實施に當つて試片の製作，實驗の觀測等に援助を與へられたる關係諸員に對し深き謝意を表するものなり．尙報告中光彈性實驗に關するものは主として内務技手鈴木倫虎氏の手を煩したるものなり．

道路舗裝用瀝青乳劑の性狀に關する基本的研究 (第2報)

A 粘性に就て, B 骨材による瀝青乳劑の分解に就て

内務技師 島田八郎
福島彌六

A 粘性に就て

島田八郎

目次

緒言……(2)
I 乳劑の粘性係數に就て……(3)
〔1〕概說……(3)
〔2〕粘性係數の意義……(4)
II 回轉圓筒法に於ける異常粘性係數(其の I)……(5)
III 毛細管法に於ける異常粘性係數(其の I)……(14)
IV 回轉圓筒法及び毛細管法に於ける異常粘性係數(其の II)……(18)
V 異常粘性液體の回轉圓筒法並に毛細管法に於ける $\theta \sim \omega_a$ 曲線及び $v_m \sim \Delta H$ 曲線……(21)
〔1〕$\theta \sim \omega_a$ 曲線, $v_m \sim \Delta H$ 曲線の分類……(21)
〔2〕分散系に於ける異常粘性の二三の實例に就て……(22)
VI 舗裝用瀝青乳劑の異常粘性の實驗的研究(其の I)……(23)
〔1〕總說……(23)
〔2〕試料瀝青乳劑に就て……(24)
〔3〕乳劑濾液の粘性係數に就て……(26)
VII 實驗的研究(其の II)……(29)
回轉圓筒法による實驗……(29)
〔1〕實驗裝置に就て……(29)
〔2〕實驗結果に就て, $(\theta \sim \omega_a)$, $(\eta_W \sim \omega_a)$ の關係て就に……(31)
VIII 結論……(41)
§ 引用文獻……(41)
§ 別表……(43)

緒　言

道路鋪裝用瀝青乳劑の工學的性狀に就ては多くの研究があり，其の特性に應じて或は混合用或は滲透用として使用されてゐる．著者も其の一般的性狀の特種な部門にて且つ重要なる瀝青質の分散度に關し，本研究第1報[1]に述べた．實地に於ける瀝青乳劑の施工法卽ち混合法滲透法に就き考ふるも乳劑の物理化學的性質例へば滲透の際其の乳劑の滲透能力を支配する表面張力及び乳劑の內部抵抗力卽ち粘性が考へられる．混合用として使用の際には混合の難易等主として粘性に關するものが多い．勿論此等は乳劑を單に粘度大なる液體として考へ，內部に於ける瀝青粒子の分散度の變化卽ち凝結等の現象を考慮に入れてゐない．實際上乳劑が碎石層，砂層を滲透しつゝ岩石等による"イオン"吸着性及び吸水性等により分解，分離の現象を生ず．混合用の際も"イオン"吸着速度を適當に小にし置き混合攪拌作用完了し撒布せる狀態に於て，分解の生ずる樣瀝青質に適當な分散が與へてある．且つ分離による瀝青層と純粹なる瀝青層との力學的性質の差異等研究すべき問題が多くある．

其の內分解に關しては著者の一人が第二部に其の一部を論ず．斯く乳劑の滲透現象は物理化學的の複雜な現象を伴ふものである．第一部に於ては乳劑を一つの瀝青～水溶液の分散系として取扱ひ主として流體力學的特性なる粘性に就き考察し粘性と流體としての運動條件，溫度及び瀝青質の含有量との關係更に進んでは分散質の分散度卽ち粒子の平均直徑の大小に對する關係等を研究せんとするものである．著者が所報第二十六號に概說せし如く乳劑に於ては斯の如き研究の必要なるは明かなれども未だ研究されたものがない．

本研究の實際上の重要性に對して一言すれば下の如し．粘性に就き考ふるに粘性油の如きものにては毛細管を通じ流出する流量と管の兩端に加へられる壓力との關係は，先端の影響及び運動"エネルギー"を考慮に入れて計算すれば所謂 Hagen-Poiseuille の式に從ふものであるから，粘性係數としては一つの物質常數を用ひ，Newton の法則に從ふとしてよく其の性狀を示すことが出來るが乳劑は斯の如き簡單な式にて其の粘性關係を示すことは出來ない．本論の如き方法により測定する事の必要なる事は明かである．卽ち流出速度小なる時には所謂構造粘性と稱すべき抵抗性が發生し，且つ粒子の分散等の影響もあり粘性の測定方法により測定し得る粘性の値は一見異るもので，一般正規液體とは大いに趣を異にするものである．斯く流れの狀態により異なる抵抗を呈する事を明かにするは實際上乳劑の滲透性を利用する場合又は混和機にて攪拌し使用する場合の粘性の判斷に役立つものである．

一方內部抵抗性と流れの狀態とを論究する事により，乳劑の粘性に對する本質的機構を推測する事が出來る．同時に粘性と溫度又は瀝青質濃度との關係の考察より此の內部の狀態を一層明かに推測する事が出來，斯くして乳劑の如き分散系の一般論に及ぶ事が出來る．

以上の外粘性に關する考察としては外力卽ち外部より系に加へられた分散に對する化學的影響と粘

性の關係等多々あるも本論にては上述の如く主として力學的關係に關するもので流れの狀態としては可變速圓筒法及び可變速毛細管法を用ひた．本研究は鋪裝用瀝青乳劑の實用上重要なる力學的性狀を明かにすると同時に膠質物理化學上主要なる分散系の粘性に關する問題を含むもので以下各章に分ち論ず．

研究の試料としては國產鋪裝用瀝青乳劑の中より確率直徑 4.0μ, 2.3μ, 1.2μ, 0.8μ の如きもの四種を撰擇し各種の實驗を行つた．下記各章の研究により瀝青乳劑とは異常粘性液體として如何なるものであるかを明かにする事が出來た．

本論は上述瀝青乳劑の一般的力學的性質中，外力に對する抵抗性を理論的に代表的實驗法に就き詳論し實驗的研究は其の一部回轉圓筒法によるものに就き記述した．毛細管法による實驗及び兩者の比較對照，更に溫度に關する諸性質其の他の事柄は續報として報告するものである．本論中に屢々引用論じてある此種諸性質は是非續報を參照されん事を望む．

I 乳劑の粘性係數に就て

〔1〕 概 說

瀝青乳劑の粘性係數は一般に "エングラー度" で表示されてゐる．粘性度測定法は一般液體に對するものを考ふるに粘度の程度に應じ各種のものを使用するもので粘性油に對しては "エングラー粘度計" 及び之に類似のものを使用してゐるが斯の如き所謂工業的粘度計ではなく基本的方法によるものでは毛細管法，回轉圓筒法，落下球法，振動法 (Kapillarviskosimeter, Rotationsviskosimeter, Fällkörperviskosimeter, Schwingende Kugel oder Hohlzylinder) 等がある．各種試驗狀態に於ける液體の運動を考察するに特長ある流れを爲すから各測器により求めた値は一般に一致しない．唯だ粘性係數が完全に流れの狀態に由らず，溫度等により定つた常數 (Materiale Konstante) であれば各實測値は一致すべきである．以下溶液中の任意の點の運動狀態を示すに速度傾度 (Geschwindigkeit-Gehälle) なるものを用ふ，卽ち任意の點に於ける相接近せる二點の距離 (ds) と二點を結ぶ直線に直角の方向の速度の差 (dv) との比 dv/ds にて之を示し，"G" なる記號にて之を表す．一般に粘性液の粘性係數 (η) は G の函數で G の値を明かにする時初めて明瞭に定義することが出來る．基本的方法にて乳劑の粘性を研究する際には可及的 "G" の値の確實に求め得るものを用ひて實驗することが望しい．其れ故著者は毛細管法，回轉圓筒法を用ひた．後に詳細に記すが此の二法に於ても "G" の値は一樣でなく測器溶液內の各點に於て異る値をとるが緒言にも述べた樣に實用上の滲透及び攪拌の作用と實驗法の相似性よりするも，且つ今行はんとする實驗資料の粘度の値より判斷するも，此等二法を最も適當と考へた．

瀝青乳劑は一般に瀝青～水溶液の分散系 (Bitumen-Wasser-Emulsion) であるから特に流體力學上の "G" の影響を受ける事が多いもので "G" の値の小さい時粘性係數は大となる．

斯る現象に對し Wo. Ostwald[2] は構造粘性 (Struktur-Viskosität) の狀態に在ると稱してゐる．Bingham[3] 等は可塑性狀態に在ると稱してゐる．兎に角粘性の異常に大なる範圍が "G" の小なる範圍にある事は此種の乳劑の特長である．斯くの如き性狀を有するものであるから "G" を種々變

じ各値に對する粘性係數を測定し，且つ測定法の意義及び其れの與ふる値に對して考察する必要がある．

〔2〕 粘性係數の意義

溶液の內部抵抗即ち內部に於て剪應力の平衡を保つ能力は溶液の分子構造によるもので，それにより運動量の移動が行はれ一つの平衡狀態に至るものである．今分子運動的に見たる"エネルギー"の移動の機構は外部より觀察する事不可能であるが移動の結果としての觀測し得る量例へば粘性係數の如きものが種々溶液の狀態變化により蒙る影響から之を推測する事が出來る．先づ斯る事を考慮に入れ概括的に粘性係數は二樣に表はされてゐる．

卽ち其の一として流體力學的の取扱ひに於ける粘性液體の粘性係數定義に從ひ (1) 式の如く示されてゐる，

$$\eta \cdot G = P \quad \cdots\cdots(1)$$

但し，"G" は應剪歪の速度にて I 章〔1〕節の速度傾度である．單位距離に於ける變形量の差異を "s" にて示せば $G=\frac{ds}{dt}$，且つ P は平衡狀態に於ける剪應力とする．

(1) の如く G と P との一次關係を假定し比例常數として η なる粘性係數を誘導してゐる．正規液體 (Normale Flüssigkeit) では粘性係數 η は溫度，濃度等の外界條件により變るが運動狀態卽ち "G" (又は P) にはよらない．勿論 (1) 式が成立するには液中の假想二層間に運動量の移動を媒介として平衡狀態に達すと假定してゐる．(1) 式は Newton の法則と呼ばれてゐる．若し (1) 式が完全に滿足してをれば流體力學に於ける Navie-Stokes の一般式が成立つから毛細管法，回轉圓筒法，或は Engler 粘度計法[4] と各實驗方法に應じて，二三の假定の下に液の運動狀態を解き粘性係數の値を求むる事が出來，且つ粘性係數として各實驗方法によらない一定値が得られる筈である．後に詳論するも瀝靑乳劑の場合粘性係數は測定法により著しく異るものである．

(1) 式は元來 Newton の運動方程式卽ち，力＝質量×加速度，に對應するもので平衡狀態を示すから運動量に相當する速度を用ひてゐる．斯る流體力學の式以外に Maxwell[5] の歪力消失遲れ (Relaxations Zeit) の考へから粘性を考へる事も出來る．或る變形量 (β) に對し應力 (α) は可塑性物質に於て Maxwell によれば (2) 式の如く表はされる事明かで，

$$\frac{d\alpha}{dt}=E\frac{d\beta}{dt}-\frac{\beta}{\tau} \quad \cdots\cdots(2)$$

但し，E, τ; 常數とする．今 $t=0$ に於て $\frac{d\beta}{dt}=\left(\frac{d\beta}{dt}\right)_0$ 常數とすれば (2) を解き

$$\alpha=E\tau(d\beta/dt)_0+ce^{-t/\tau} \quad \cdots\cdots(3)$$

を得．但し，τ; 歪力消失時間 (Relaxationszeit) にて $t=0$ に於て $\beta=\beta_0$ 常數とした場合に於ける (2) 式の解……$\alpha=E\beta_0e^{-t/\tau}$……により明かなる樣應力の $(1/e)$ 倍になるまでの時間を表はす．(3) は (1) 式と全く同じ形式のもので兩式を比較し粘性係數に對應して

$$\eta = E\tau \quad \cdots\cdots(4)$$

を得．

(4) 式の意義は物質内の應力の擴散を示すもので之れを如何に乳劑の場合に適用するかは後章に述べる．各種の實驗法を比較する爲め (1) 式を考察する．(1) 式の η は G の函數であり，觀察する量は (1) 式の積分で示されるから "η" の函數形が不明であるから逆に觀察値より函數の形を求めねばならぬ．其れ故各瞬間各任意の點に於て (1) 式が成立つと假定し各測定器具内の流れの狀態及び境界條件を挿入し測定器内の平均速度傾度 "G_m" に對する粘性係數を求むる事により一次的に近似値が求められる．一說明とし最も簡單な場合である水平に置かれた重力の影響を度外視せる毛細管内の流れに對し (1) 式を適用すれば下記の如く容易に解く事が出來る．

$$\left.\begin{aligned} G&=\frac{\partial v}{\partial r} & G_m&=2\pi\int_0^{r_a}\left(\frac{\partial v}{\partial r}r\right)\frac{dr}{\pi r_a^2}\\ \eta\cdot\frac{\partial v}{\partial r}&=P & P&=-\frac{rp}{2l}\end{aligned}\right\} \quad\cdots\cdots(5)$$

但し，v; 毛細管中心より距離 "r" 點に於ける軸方向の速度，r; 管内中心よりの距離，l; 管長，p; 管の兩端の加壓力差，r_a; 管の内部半徑．

(5) 式より每秒の流量は

$$Q=\frac{\pi r_a^4 p}{8l\eta} \quad\cdots\cdots(6)$$

で示される事明かである．勿論 (6) 式の l には管の兩端の影響及び流出液の運動勢力による補正を加ふべきである．(6) 式に於て r_a, l, p を種々組合せる事により得らる各種の G の値に對し $\left(\frac{r_a^4 p}{l}\right)$ の同値に對し Q の一定値を得る場合は Newton 粘性式 (1) が常に成立し η は物質定數である．瀝青乳劑に於て速度傾度 (G) により η は非常に變るもので $\frac{r_a^4 p}{l}$ の同一値に對しても Q は一定とならない．以下 (1) 式を小なる速度領域に成立つものとし之を基本とし，毛細管法，回轉圓筒法の場合の速度傾度の分布を詳細に吟味して此等の方法にて測定される値が如何なる意義を持つかを考察する．

II 回轉圓筒法 (Rotationsviskosimeter) に於ける異常粘性係數 (其の I)

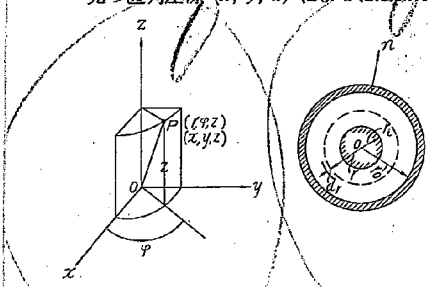
實驗方法竝に裝置の詳細に就ては實驗の部に之を述べるが，回轉圓筒法は一名 (Couette 法と呼ばれ二つの同心圓筒よりなり，外部圓筒は一定の回轉速度にて回され内部圓筒は兩圓筒間にある液體の運動量傳達能力即ち粘性により同じ方向に回轉モーメントを受ける．内部圓筒は彈性絲にて吊されてゐる，此の彈性的抵抗力と上記回轉モーメントの平衡位置より液體の粘性を求むものなる事明かなれども，今二つの同心圓筒内の流れと觀測値との關係を考察する．簡單の爲め流れは圓筒軸の方向に無關係な二次元流とする．先づ本實驗に適用される粘性液體に於ける粘性係數の公式を擧げる．

通常の粘性液の Navie-Stokes の流體力學の公式を其儘用ふれば外部より與へられる有效回轉力率と内部抵抗による抗力との關係は容易に求められるが後述異常性の說明に重要な關係を持つてゐるから基本式から述べる．

先づ外圓筒のみの場合の如き單一連絡空間 (Einfachzusammenhängender Raum) では "ポテンシャル" 流の成立しない事は流體力學の示す所で本實驗法の如き共心圓筒の如き多重連絡空間では "ポ

テンシャル" 流を生ず．實驗範圍で攪亂の發生しない内は乳劑資料は巨視的 (Makroskopische) に "ポテンシャル" 流をしてゐると考へ得．特に巨視的といふ辭句を使用したのは後に明かなるが乳劑の如き分散係に於ては微視的 (Mikroskopische) と明瞭に區別する必要からである．先づ乳劑を一樣な媒質と考へ流體力學の式を適用する．

先づ直角座標 (x, y, z) によるに運動方程式は (7) 式の如くである．(第1圖參照)



第　1　圖

$$\left.\begin{aligned} &\frac{\partial v_x}{\partial z}=\frac{\partial v_y}{\partial z}=0, \qquad v_z=0 \\ &\dot{p}=\frac{1}{2}\left(\frac{\partial v_z}{\partial y}-\frac{\partial v_y}{\partial z}\right)=0, \qquad \dot{q}=\frac{1}{2}\left(\frac{\partial v_x}{\partial z}-\frac{\partial v_z}{\partial x}\right)=0 \\ &\dot{\nu}=\frac{1}{2}\left(\frac{\partial v_y}{\partial x}-\frac{\partial v_x}{\partial y}\right)\neq 0 \end{aligned}\right\} \quad (7)$$

但し，v_x, v_y, v_z……；任意の點に於ける速度の x, y, z, 軸方向の成分，

$\dot{p}$, $\dot{q}$, $\dot{\nu}$……；は任意の點に於ける分子回轉速度，

更に連續式は (8) 式の如し，

$$\frac{\partial \rho}{\partial t}+\frac{\partial(\rho v_x)}{\partial x}+\frac{\partial(\rho v_y)}{\partial y}+\frac{\partial(\rho v_z)}{\partial z}=0 \quad \cdots\cdots (8)$$

但し，ρ は密度を示す．(7) 式は明かに二次元流の成立つ事を假定してゐる．

今軸對稱の流れを假定し，W なる函數を (9) 式の如く定義する．但し $W=$"r" のみの函數とする

$$\left.\begin{aligned} v_x&=\frac{\partial W}{\partial y}=\frac{\partial W}{\partial r}\cdot\frac{\partial r}{\partial y}=\frac{\partial W}{\partial r}\cdot\frac{y}{r} \\ v_y&=-\frac{\partial W}{\partial x}=-\frac{\partial W}{\partial r}\cdot\frac{\partial r}{\partial x}=-\frac{\partial W}{\partial r}\cdot\frac{x}{r} \end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots (9)$$

密度を常數とし (9) 式を (8) 式に代入すれば明かに滿足す，更に (7) 式の最後の式より (10) 式を得即ち，

$$\left.\begin{aligned} \dot{\nu}&=-\frac{1}{2}(\triangle W), \qquad \triangle\equiv\text{Laplacian} \\ &=-\frac{1}{2}\cdot\frac{1}{r}\cdot\frac{d}{dr}\left(r\frac{dW}{dr}\right) \end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots (10)$$

(9) 式より更に角速度 (ω) を (11) 式の如く定義する，

$$\frac{\partial W}{\partial r}\cdot\frac{1}{r}=\omega, \qquad v_x=\omega y, \qquad v_y=-\omega x \quad \cdots\cdots (11)$$

(10) 及び (11) 兩式より $\dot{\nu}$, と ω の關係を下の如く求め得．即ち先づ (10) 式を積分し，

$$\frac{1}{r}\cdot\frac{dW}{dr}=-\frac{1}{r^2}\int 2\dot{\nu}\, r\, dr+\text{常數} \qquad \text{を得，}$$

(11) 式を代入し r に就き微分し，(12) 式なる關係を得，

$$\omega+\frac{1}{2}\frac{\partial \omega}{\partial r}=-\dot{\nu} \quad \cdots\cdots (12)$$

(10) 式を解く事により，實驗裝置内の流れの狀態が明かになる．第一に考へられる事は $\dot{\nu}$ が常數の場

合及び r の函數の場合であるが最初假定した様な二次元的軸對稱な流れの場合 ν は任意の函數ではなく運動方程式の方から定る函數になる．圓壔座標 (r, φ, z) を用ひて，Navie-Stokes の式を書き，實驗裝置の境界條件を入れ粘性による剪應力を求める，但し全部軸對稱二次元の場合とする．

卽ち　$v_z=0,\quad \frac{\partial}{\partial\varphi}=0,\quad \frac{\partial}{\partial z}=0$　とすれば (13) (14) の如く簡單に Navie-Stokes の式を示し得．

$$\left.\begin{aligned}\rho\left(\frac{\partial v_r}{\partial t}+v_r\frac{\partial v_r}{\partial r}+\frac{v_\varphi}{r}\cdot\frac{\partial v_r}{\partial\varphi}-\frac{v_\varphi^2}{r}\right)&=-\frac{\partial(p+\Omega)}{\partial r}+\eta\left(\frac{\partial^2 v_r}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial v_r}{\partial r}-\frac{v_r}{r^2}\right)\\ \rho\left(\frac{\partial v_\varphi}{\partial t}+v_r\frac{\partial v_\varphi}{\partial r}+v_\varphi\cdot\frac{\partial v_\varphi}{r\partial\varphi}+\frac{v_r v_\varphi}{r}\right)&=-\frac{\partial(p+\Omega)}{r\partial\varphi}+\eta\left(\frac{\partial^2 v_\varphi}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial v_\varphi}{\partial r}-\frac{v_\varphi}{r^2}\right)\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots(13)$$

$$\left.\begin{aligned}p_{rr}&=-p+2\eta\frac{\partial v_r}{\partial r}\qquad p_{r\varphi}=\eta\left\{r\frac{\partial}{\partial r}\left(\frac{v_\varphi}{r}\right)+\frac{\partial v_r}{r\partial\varphi}\right\}\\ p_{\varphi\varphi}&=-p+2\eta\left(\frac{\partial v_\varphi}{r\partial\psi}+\frac{v_r}{r}\right)\qquad p_{\varphi z}=0,\quad p_{zr}=0\\ p_{zz}&=-p\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots(14)$$

但し，v_r, v_φ, v_z;　圓壔座標軸 r, φ, z の方向に於ける速度成分

p_{rr}, $p_{\varphi\varphi}$, p_{zz};　圓壔座標軸 (r, φ, z) に對する法線應張力

$p_{r\varphi}$, $p_{\varphi z}$, p_{rz};　同上剪應力を示すもので第2圖に此等の關係を示す，

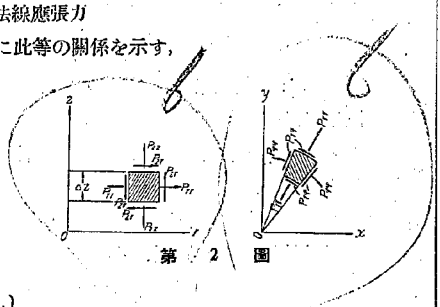
ρ; 流體の密度，η; 粘性係數，p; 靜水壓，

Ω; 單位容積に作用する外力 "ポテンシャル" を表す．

今 (11) 式の如き場合は下記 (15) の如く置く事を得，

$$v_\varphi=r\omega=f(r),\qquad v_r=0,\qquad p=\Omega=0\quad\cdots\cdots(15)$$

定常流とすれば (14) 第二式は下の如くする，



第 2 圖

$$\frac{dv_\varphi}{dt}=0$$

$$\therefore\quad \eta\left(r\frac{\partial^2\omega}{\partial r^2}+3\frac{\partial\omega}{\partial r}\right)=\eta\frac{1}{r^3}\left\{\frac{\partial}{\partial r}\left(\frac{\partial\omega}{\partial r}r^3\right)\right\}=0$$

$$\therefore\quad \frac{\partial}{\partial r}\left(r^3\frac{\partial\omega}{\partial r}\right)=0$$

$$r^3\frac{\partial\omega}{\partial r}=\text{常數}=-2C_1,\qquad \text{と置けば}$$

$$\omega=\frac{C_1}{r^2}+C_2\quad\cdots\cdots(16)$$

但し，C_1, C_2; 常數にて境界條件より定まる．

今同心圓筒の內部，外部半徑を夫々 r_i, r_a とすれば (第1圖參照)

$r=r_i$　に對し　$\omega=0$

$r=r_a$　に對し　$\omega=\omega_a$

である，(16) は (17) の如く定まる，

$$\omega=-\frac{r_a^2r_i^2}{r_a^2-r_i^2}\cdot\frac{\omega_a}{r^2}+\frac{r_a^2\omega_a}{r_a^2-r_i^2}\quad\cdots\cdots(17)$$

$$\nu=\frac{C_1}{r^2}+C_2-\frac{C_1}{r^2}=\frac{r_a^2}{r_a^2-r_i^2}\omega_a \quad \cdots\cdots(18)$$

(16) 式より $v_\varphi=\frac{C_1}{r}+C_2r=\frac{1}{r}(C_1+C_2r^2)$

v_φ の式を見るに $C_2=0$ なれば流れは多重連絡空間に於ける "ポテンシャル" 流をなすもので "ポテンシャル" は $\phi=-C_1\varphi=-2\pi C_1 n$, ($n$ は任意の整数とす) なる事明かである．今の場合條件により $C_2\neq 0$ である．流れは "ポテンシャル" 流でない．

更に (14) より粘性による平衡狀態にある流體内の應力が分る，

$$\left.\begin{aligned} p_{rr}&=0 \qquad p_{r\varphi}=\eta\left(r\frac{\partial\omega}{\partial r}\right)\\ p_{\varphi\varphi}&=0, \qquad p_{\varphi z}=0\end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots(19)$$

(19) 式を見るに $p_{r\varphi}$ なる剪應力は (1) 式の $p=\eta G$ と比較し得るもので速度傾度は (20) で示される，

$$G=r\frac{\partial\omega}{\partial r}=\frac{2r_a^2r_i^2}{r_a^2-r_i^2}\frac{\omega_a}{r^2} \quad \cdots\cdots(20)$$

斯く全く流體力學的に計算上取扱つた粘性 "η" により同心圓内の各薄層は互に力の平衡を保ちつゝ一定の平衡狀態に達す，其の時に $p_{r\varphi}$ により傳へられる有效回轉率は下式の如くである．

$$D=2\pi r\cdot h'\cdot\left(\eta r\frac{\partial\omega}{\partial r}\right)\cdot r=2\pi h'\eta(-2C_1)=4\pi h'\cdot\eta\frac{r_a^2r_i^2}{r_a^2-r_i^2}\omega_a \quad \cdots\cdots(21)$$

但し，h'; 内部に吊され力率 D の爲めに回轉する圓筒の兩端影響を補正せる長さを示す．(第 20 圖 (b) 參照)

力率 D は内部圓筒を吊せる線條の彈性抵抗力 $k\theta$ と釣合ふ，

$$D=k\theta$$

但し θ; 線條の釣合ひ位置の捩れ角を表す．

其れ故粘性係數は容易に求め得

$$\eta=k\frac{r_a^2-r_i^2}{4\pi h'r_a^2r_i^2}\frac{\theta}{\omega_a}=K\frac{\theta}{\omega_a} \quad \cdots\cdots(22)$$

K は測定裝置で定まる常數である．(22) 式で與へられる粘性係數式は η が流れの狀態によらない場合で，η が物質常數となる場合に限る．即ち斯の如きは特種なる正規液體にのみ適され，一般殊に乳劑の如きものにては η は常數とならない．

蓋し (22) 式は Navie-Stokes (13) 式より導いたものであるから一應 (13) 式に於ける η の項の内容を一應吟味してをく必要がある．流體力學の教科書にあるも本論に必要な部分のみ列擧すれば，

(i) 流體分子質量を度外視す．

(ii) 彈性的應力平衡式に d'Alamhert の原理を適用す．

(iii) 流體の非壓縮性を假定す．

(iv) 流體内に發生する應力 ($X_x\cdots\cdots Z_z$) は歪速度 $\left(\dot{x}_x=\frac{\partial v_x}{\partial x},\ \dot{y}_x=\frac{\partial v_y}{\partial y},\cdots\cdots,\ \dot{x}_y=\frac{1}{2}\left(\frac{\partial v_x}{\partial y}+\frac{\partial v_y}{\partial x}\right),\cdots\cdots,\ \cdots\cdots,\right)$ のみの一次式で示し得，且つ等方性 (Isotropische) 媒質中に於ける内部抵抗

による消費"エネルギー" Q を, $\frac{dQ}{dt}=\int f d\tau$ で表し應力關係式より f は彈性體の歪"エネルギー"に類似的に置く事を得, 卽ち, 常數 λ', η を誘導し,

$$f=\frac{1}{2}\lambda'(\dot{x}_x+\cdots\cdots+\dot{z}_z)^2+\eta(\dot{x}_x^2+\cdots\cdots+\frac{1}{2}\dot{x}_y^2)$$

と假定し (iii) の條件を代入することにより (14) の如き式を得. 更に (ii) の條件を適用し (13) 式を得た.

斯く考ふれば (22) の如き式で實驗せる場合 η の常數とならない事が寧ろ當然の樣に思へる.

內部抵抗性の應力は常に歪速度の一次式に比例する如き事は考へられない, 殊に濃度の大なる物に於ては工學上稠度なる用語にて表はさる樣に外力に對し歪速度に對する抵抗性以外に剪應力に平衡する如き抵抗力の存在性が推察されるから, 測定量卽ち吊された線條の變形; $\theta=D/k$ に對する外部回轉力 D の數式は實際上複雜な形をとるものと推測される.

(14)' 式の應力式の粘性係數 η を速度傾度の函數として假りに解くも基本式誘導方式を考察すれば嚴密なものでない. 寧ろ (22) 式に從ひ係數 η を求め之を內部抵抗係數 η_w (又は皮相粘性係數) と稱す. 一次近似値として測定容器內部任意の二點に於ける速度傾度 G の差異僅少にて實驗の誤差範圍內にて常數と假定す. 卽ち下記 (23) 式で與へられる圓筒半徑 r_a, r_i の內部の平均値 (G_m) を以て與へられた回轉數 (ω_a) に對する速度傾度とする.

$$G_m=\frac{\int_{r_i}^{r_a}(r\frac{\partial\omega}{\partial r})dr}{r_a-r_i}=-\frac{2r_a r_i}{r_a^2-r_i^2}\cdot\omega_a \quad \cdots\cdots(23)$$

斯く考ふれば G_m の小なる値に對する η_w は非常に大となり G_m の增大と共に減少し遂に G_m に無關係に常數となり更に G_m が增大すれば渦亂が發生し η_w が增す. 最初の範圍は〔1〕章 (1) 節に述べた如く構造粘性と呼ばれてゐる. 斯る異常粘性の解釋として種々試みられたものに Buckingham[6] Bingham[7], Svegvari[8], Reiner[9] 等の理論がある. 彼等は異常性高粘性液體は常に外力に對し小なる範圍に於ては固體の如く抵抗し或極限値を超過すれば材料の流れを生ずとの考へを基とし毛細管法の實驗に於ける異常性を說明した.

以上の原理は一般可塑性物質の流れ (フロー)に對し屢々用ひられるものであるが容器內の速度分布を直線と假定し更に極限値の際の應力分布を粘性流の運動中のものと全く同じと假定してゐる.

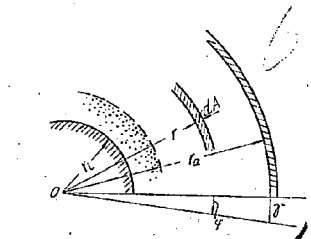
今以下別の立場に立ち極限値の發生する際の應力分布は全く彈性的平衡によるとし扭りに於ける可塑性變形より"フロー"に移り回轉圓筒法に於ける有效回轉力率 (D) と平均速度傾度 G_m との關係を考察する.

先づ外筒に回轉を與ふれば邊周に於て充分の粘着力があれば最初の瞬間に於て全體として變形を受ける, 乳劑に於ても極度に小さい外力に對しては宛も彈性體の如き變形をする.

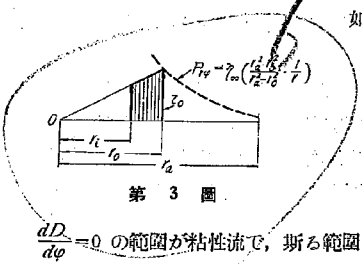
斯る場合に於ける扭りは容易に下記の如く示し得 (第3圖參照).

$$\left.\begin{aligned}&\gamma=r\varphi \qquad D=n\varphi\int\int r^2\cdot ds=n\varphi\frac{\pi}{2}\left(r_a^4-r_i^4\right)\\&\tau=n\cdot r\varphi=\tau_a\cdot\frac{r}{r_a}\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots(24)$$

但し，r; 任意の一點の動徑.　φ; 動徑 r が x 軸となす角　γ; 變形　n; 捩り彈性率
τ; 剪應力.　D; 邊周變形 "γ_a" の場合に內部に蓄積される彈性的回轉力率.



一方乳劑は內部に於ける剪應力 (τ) により直ちに "フロー" を生ず，即ち τ_0 を或る定つた値とすれば　$\tau=nr\varphi>\tau_0$…… に至れば "フロー" が發生する．斯る範圍に於ては變形 (φ) が如何に增大するも應力 τ は一定値 (τ_0) 以上にはならない．即ち粘性流の範圍に至るが可塑變形の式より誘導される力率には常に速度の項が度外視されてゐる．今唯可塑性變形を考ふれば (第4圖參照) "τ" は γ の函數であるから (24) 式から下記の如く，粘性流範圍を定める事が出來る．



第 3 圖

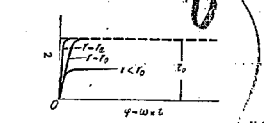
$$\tau=f(\gamma)\qquad D=\frac{2\pi}{\varphi^3}\int_\gamma^{\gamma_a}f(\gamma)\,\gamma^2\,d\gamma \quad\cdots\cdots\cdots\cdots(25)$$

γ_a で微分し且つ常に　$\gamma_a^2=\varphi\cdot r_a^2$　であるから

$$\tau_a=\frac{3D+\varphi\cdot\dfrac{dD}{d\varphi}}{2\pi r_a^3}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots\text{を得}$$

$\dfrac{dD}{d\varphi}=0$ の範圍が粘性流で，斯る範圍は r_0 即ち材料の特性 (τ_0) により定まる．同心圓內にては中心の近くに半徑 r_0 で與へられる固着層があり其の外邊に粘性流層がある．Reiner[9] によれば外圓近くに粘着圓層がある．

上述の考察により異常流體により呈する抵抗は下式の如く示される．



第 4 圖

$$\left.\begin{aligned}&\tau=\tau_0+\eta\cdot r\frac{\partial\omega}{\partial r}\qquad r_a>r>r_0\\&\frac{\partial\omega}{\partial r}<0\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots(26)$$

斯る應力により定常狀態に達し扭り力の平衡を保つから有効力率は此の場合，

$$D=2\pi\gamma\cdot h'\tau\cdot r\quad\cdots\cdots\cdots\cdots(27)$$

で表れる，但し h' 等は (22) 式に於けるものと同一である．

(27) 式で注意すべき事は τ_0 を最初の "フロー" を定めた材料の常數として最後まで取扱ふべきか又は粘性流內に於て別個の物理的意義を與ふべきかは判定困難であるが頗る興味ある問題である．

以下 (22) 式の述べた樣に一般の抵抗係數 η_w と區別する爲め速度傾度の影響のない範圍のものを示すに η_∞……を用ふ．(27) 式の力率が流體內同心圓の各層に於て成立つならば速度分布は (17) 式に得たものとは異つた結果となる即ち (27) 式より

(i) の場合，　$D=2\pi h'r^2\tau_0+2\pi h\eta_\infty\left(r^3\dfrac{\partial\omega}{\partial r}\right)$

を得上式より更に

$$d\omega=\frac{D-2\pi r^2h'\tau_0}{2\pi r^3h\eta_\infty}dr$$

$$\therefore\quad \omega=\frac{D}{4\pi r^2 h'\eta_\infty}-\frac{\tau_0}{\eta_\infty}ln\,r+\text{常數}$$

$r=r_0$ に於て $\omega=0$ と置けば

$$\omega=\frac{D}{4\pi h'\eta_\infty}\left(\frac{1}{r^2}-\frac{1}{r_0^2}\right)-\frac{\tau_0}{\eta_\infty}ln\frac{r}{r_0}\quad\cdots\cdots\cdots\text{を得}$$

更に $r=r_a$ に於て $\omega=\omega_a$

$$D=4\pi h'\eta_\infty\frac{r_a^2r_0^2}{r_a^2-r_0^2}\cdot\left(\omega_a+\frac{\tau_0}{\eta_\infty}ln\frac{r_a}{r_0}\right)\quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(28)$$

(ii) の場合,

(26) 式の抵抗力が作用する時も圓筒内の流れは全く (17) 式で與へられる場合と同一で之に (25) 式の可塑的 "フロー" による力率が重疊されてゐるとする. (27) 式より下の如く (29) 式を得.

$$D=2\pi h'\int_{r_i}^{r_a}\tau r^2dr+2\pi h'\eta_\infty\left(r^2\frac{\partial\omega}{\partial r}\right)$$

$$=\frac{\pi h'}{6}\left\{3\left(\frac{r_0^4}{r_0}-\frac{r_i^4}{r_0}\right)+(r_a^3-r_0^3)\right\}\tau_0+4\pi h'\eta\frac{r_a^2r_0^2}{r_a^3-r_0^3}\omega_a\quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(29)$$

(28), (29) 式より (30) 又は (31) 式を得. 卽ち

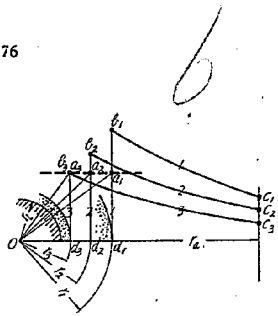
$$\left.\begin{aligned}D&=\frac{4\pi h'r_a^2r_i^2}{r_a^2-r_i^2}\eta_\infty\cdot\omega_a\cdot\left\{\frac{r_0^2(r_a^2-r_i^2)}{r_a^2(r_a^2-r_0^2)}+\frac{\tau_0}{4\pi h'\eta_\infty}\cdot\frac{r_a^2-r_i^2}{r_0^2r_i^2}\cdot ln\frac{r_a}{r_0}\frac{1}{\omega_a}\right\}\\ D&=\frac{4\pi h'r_a^2r_i^2}{r_a^2-r_i^2}\eta_\infty\cdot\omega_a\cdot\left\{\frac{r_0^2(r_a^2-r_i^2)}{r_a^2(r_a^2-r_0^2)}+\frac{\tau_0}{6\eta_\infty}\cdot\frac{r_a^2-r_i^2}{r_a^2r_i^2}\left[\frac{3}{4}\left(\frac{r_0^4}{r_0}-\frac{r_i^4}{r_0}\right)+(r_a^3-r_0^3)\right]\cdot\frac{1}{\omega_a}\right\}\end{aligned}\right\}\cdots(30)$$

又は $\left.\begin{aligned}D&=k\theta\cdot F_1(\omega_a)\\ D&=k\cdot\theta\cdot F_2(\omega_a)\end{aligned}\right\}\cdots\cdots(31)$

但し θ; 粘性係數が速度傾度に無關係の範圍 (η_∞) に亙りたる場合に相當する懸垂線條の振り角である. $F_1(\omega_a)$, $F_2(\omega_a)$ は (31) 式の括弧 { } 內のものを示すもので, τ_0, η_∞, r_a, r_i, r_0 により定まる係數を持つ ω_a の函數である. (31) 式に相對し懸垂線條の振り角は實際 θ' となるから θ' に對し (22) 式より抵抗係數 η_W を得. θ' と θ, η_W と η_∞ との關係は容易に求め得,

$$\left.\begin{aligned}&\theta'=\theta F_1(\omega_a)\quad\text{又は}\quad\theta'=\theta F_2(\omega_a)\\ &\eta_\infty=K\frac{\theta}{\omega_a}\qquad\eta_W=K\frac{d\theta'}{d\omega_a}=\eta_\infty\frac{d\{\omega_aF_1(\omega_a)\}}{d\omega_a}\\ &\qquad\qquad=\eta_\infty\frac{d\{\omega_aF_2(\omega_a)\}}{d\omega_a}\end{aligned}\right\}\cdots\cdots(32)$$

以下 $F_1(\omega_a)$ 又は $F_2(\omega_a)$ の函數形を考察せんに先づ r_0 と ω_a との關係を吟味する. 第5圖に此の關係を示す. 今或る瞬時に圓筒內に於て ($0\ r_1$) の半徑以內が固着層であるとすれば固着層內にては ($0a_1$) で示される剪應力分布があり, 半徑 $0r_1$ と $0r_a$ との間には $\eta_\infty\cdot\frac{2r_a^2r_1^2}{r_a^2-r_1^2}\cdot\frac{1}{r^2}\cdot\omega_a$……卽ち ($b_1\ 1\ c_1$) 曲線で示される剪應抵抗力の分布がある. 若し $d_1a_1\neq d_1b_1$ なれば境界面で連續性を滿足しないから固着層は破壞され半徑 $0r_2$ の如くなるとすれば應力分布は $0a_2$, 剪應抵抗力分布は ($b_2\ 2\ c_2$) 曲線の如くなる.



第 5 圖

斯くの如くして境界面に於て應力の連續性を滿足するまで固着層は減少し遂に例へば $Oa_3(b_3)c_3$ の如き分布を與へる半徑 Or_3 に至り平衡となる．故に $F_1(\omega_a)$, $F_2(\omega_a)$ の r_0 は明かに ω_a の函數にて ω_a の相當大なる値に對しては r_i となる如く常に減少するものである．

ω_a の極度に小なる値に對し $r_0=r_a$ となり或値以上に對し $r_0=r_i$ となると假定し $F_1(\omega_a)$, $F_2(\omega_a)$ の形を求める事が出來る．$F_2(\omega_a)$ の場合可塑的“フロー”あるも彈性的抵抗力は實驗の精度以內に表れて來ないとすれば括弧內の $\left[\frac{3}{4}\left(\frac{r_0^4}{r_0}-\frac{r_i^4}{r_0}\right)+(r_a^3-r_0^3)\right]$ は $(r_a^3-r_0^3)$ となる，以下 F_1, F_2 の形を吟味するに τ_0 の形式により〔α〕,〔β〕の場合に分ける，

〔α〕　の場合；　　$\tau_0=$ 常數とす．

第 6 圖は (32) 式に對する回轉角 θ と，粘性抵抗 η_W の基準形を示すもので ω_a, との關係曲線を示す．

〔a〕圖は……$F_1(\omega_a)$ の場合

〔b〕圖は……$F_2(\omega_a)$……(其の 1) の場合

〔c〕圖は……$F_2(\omega_a)$……(其の 2) の場合

を示すもので抵抗係數 (η_W) は各曲線の任意の點に對應する $\frac{d\theta}{d\omega_a}$ より求められる．

總ての場合 r_0 の兩極限値卽ち r_a, r_i をとる運動狀態は明瞭に推測し得るも變化行程の有線は時間的に瞬時に起る平衡力によるものであるから推測する事頗る困難である．

從つて，$\theta\sim\omega_a$ 曲線を嚴密に數式より求める事は出來ない．上述の如く如何なる傾向に從ふものなるかは明かになる．〔a〕,〔b〕,〔c〕圖に於ける $\theta\sim\omega_a$ 曲線を見るに各々特長を持つてゐる．說明の都合上順序を換へ〔b〕圖より考ふるに，

〔b〕圖；　$\omega_a F_2(\omega_a)=\left\{\frac{r_0^2\cdot(r_a^2-r_i^2)}{r_i^2(r_a^2-r_0^2)}+\frac{\tau}{6\eta_\infty}\cdot\frac{r_a^2-r_i^2}{r_a^2r_i^2}\left[\frac{3}{4}\left(\frac{r_0^4}{r_0}-\frac{r_i^4}{r_0}\right)+(r_a^3-r_0^3)\right]\frac{1}{\omega_a}\right\}\omega_a$,　　r_0; ω_a の函數にて

上式により $\theta-\omega_a$ 曲線は定まる．此の場合圖示の如く $\omega_a=0$ に應じて一定値の $\omega_a F(\omega_a)$ を有す．ω_a の增加に從ひ抵抗性は漸次增大するものである．“フロー”を決定する剪應强度 τ_0 と粘性流範圍內に於ける抵抗力 τ_0 と全く同一とすれば〔b〕圖實線の如くなるも，後者に，前者に比し大なる値を與ふれば同圖點線①の如くなる．更に後者に小なる値を與ふれば同圖點線②の如きものを得．斯くの如きは實驗裝置による摩擦抵抗等の大なる場合一般に現れる傾向である，η_W 係數は $\frac{d\theta}{d\omega_a}$ に比例するものとして容易に求め得．如何に構造粘性の現れるかを推測する事が出來る．

〔c〕圖；　$\omega_a F_2(\omega_a)=\left\{\frac{r_0^2}{r_i^2}\cdot\frac{r_a^2-r_i^2}{r_a^2-r_0^2}+\frac{1}{6\eta_\infty}\cdot\frac{\tau_0}{\omega_a}\cdot\frac{r_a^2-r_i^2}{r_a^2r_i^2}(r_a^3-r_0^3)\right\}\omega_a$

但し r_0 は ω_a の函數である．

上式により $\theta\sim\omega_a$ 曲線は定まる，〔b〕圖の場合彈性的强度の實驗上觀測されない場合を示すもので，$\omega_a=0$ に對し，$r_0=r_a$ にて源點を通る三次の拋物線の傾向に從ひ急激に增し $\theta\sim\omega_a$ 曲線は一定の傾度をとる．本式の τ_0 は可塑的流れの類似性より誘導したものであるが流體に於ける物理的意義は別に考察する必要がある．

〔α〕圖; $\omega_a F(\omega_a)=\left\{\frac{r_o^2(r_a^2-r_i^2)}{r_i^2(r_a^2-r_o^2)}+\frac{\tau_o}{4\pi h'\omega_a}\cdot\frac{r_a^2-r_i^2}{r_a^2\cdot r_i^2}\,ln\frac{r_a}{r_o}\right\}\omega_a$, $r_o=\omega_a$ の函數

上式により定まる $\theta\sim\omega_a$ 曲線の傾向は〔C〕圖の場合と全く同じであるが $\theta\sim\omega_a$ 曲線の一定傾度に近く割合が緩慢である. 上式の意義は既に(28)式の時述べた.

以上〔α〕,〔β〕,〔ε〕圖の場合を見るに今 "τ_o" の物理的意義は明白に定義しなかつたが物質に就き一定狀態に對し一定の値を有する常數として論じた. 斯くして得た抵抗係數(η_W)は $\omega_a=0$ に對して無限大の値を示してゐる. 後述の實驗結果と比較するも斯の如き η_W は多くの場合に現れて來るが, τ_o を定數と假定せず流體内の速度傾度(G)の函數とすれば, 速度傾度の大なる點に於ては彈性的平衡を保つに大なる力の分布を要す事明かにて, 今 $\tau_o=[\tau](1-e^{-b\omega_a})$ とし前述〔ε〕圖の場合を吟味す.

〔β〕の場合;
$$\left.\begin{aligned}&\tau_o=[\tau](1-e^{-b\omega_a})\\&\omega_a=0 \text{ に對し } \tau_o=0\\&\omega_a=\infty\qquad\tau_o=[\tau]\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots(32)$$

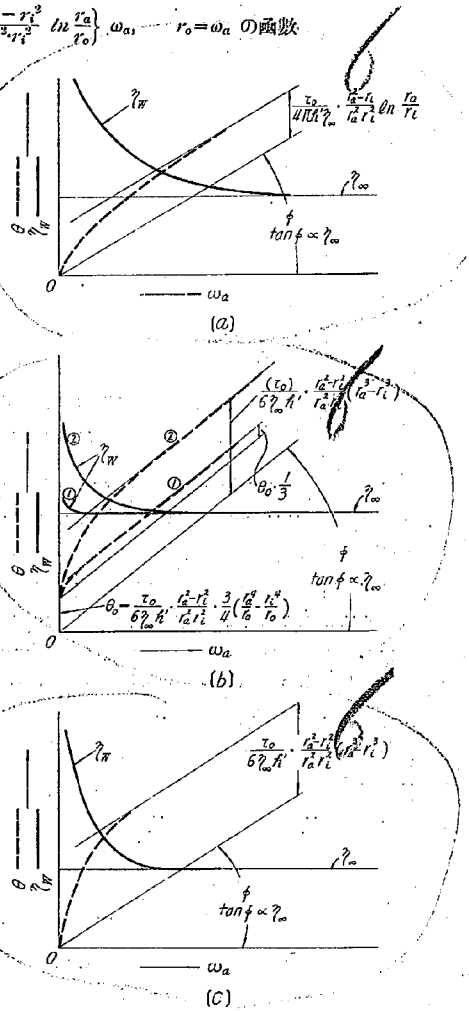
とし且つ圓筒内全體に粘性流が生じてゐるとすれば全く〔α〕の〔b〕の場合と同樣にて變形すれば $\omega_a F_2(\omega_a)$ の代りに下式を得,

$$\omega_a\cdot F_3(\omega_a)=\left\{1+\frac{[\tau]}{6\eta_\infty}\cdot\frac{1-e^{-b\omega_a}}{\omega_a}\times\frac{r_a^2-r_i^2}{r_a^2r_i^2}\cdot(r_a^3-r_i^3)\right\}\omega_a\quad\cdots\cdots(33)$$

懸垂線條の回轉角を θ とすれば,

$$k\theta=4\pi h'\frac{r_a^2r_i^2}{r_a^2-r_i^2}\eta_\infty\omega_a\cdot F_3(\omega_a)$$

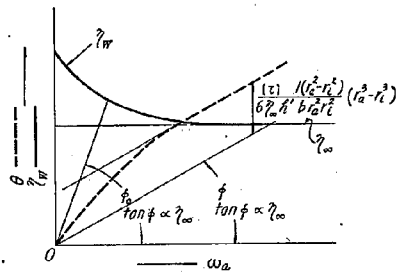
となる事明かにて, η_W も $\theta\sim\omega_a$ 曲線より容易に求め得. 第7圖は之を示す. 同實線は $\theta\sim\omega_a$ 曲線を示し點線は $\eta_W\sim\omega_a$ 曲線を示すもので此場合 $\frac{d\{\omega_a F_3(\omega_a)\}}{d\omega_a}$ は $\omega_a=0$ に對し有限値を有す. 〔α〕の〔a〕,〔b〕,〔c〕圖の場合とは異つた傾向に抵抗係數の變る場合を得.



第 6 圖

以上論じた樣に著者は回轉圓筒式實驗の場合に現れる異常粘性液體に對する $\theta\sim\omega_a$ 曲線並に $\eta_W\sim\omega_a$ 曲線の4種を得た. 即ち

〔α〕…の場合に於ける〔a〕,〔b〕,〔c〕の3種
〔β〕…の場合に於ける一種
}……4種の $\theta\sim\omega_a$ 曲線



第 7 圖

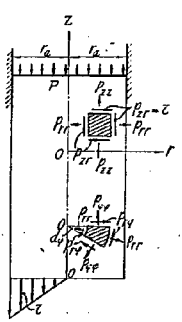
の如し．從來幾多の研究家によつて行はれた分散系異常粘性の實驗結果と上述理論式との比較及び國産瀝青乳劑の各種の狀態即ち抵抗係數（η_w）の溫度，分散質の濃度及び分散質の粒子分散度に對する影響等の實驗的結果とも比較せん．更に實驗を試みた毛細管法の場合をも吟味し置く．

III　毛細管法 (Kapillarviskosimeter) に於ける異常粘性係數　(其の I)

毛細管法にて粘性係數を測定する場合に於ても異常粘性即ち流出速度等により流體力學基本式により定義される粘性係數は影響を蒙り速度傾度の小なる場合異常に係數の增加するは全く回轉筒法の場合と同樣である．

乳劑の如きものにては先づ極度に小なる外力に對しては可塑的"フロー"を生じ境界條件に從ひ，一方の粘性抵抗性と連關し速度を得るものと推測される．先づ圓柱の上部より一樣な壓力にて壓せられる場合の應力分布は軸對稱にて軸方向のみの變形を假定する場合には簡單に解き得．實際 Auerbach-Ostwald[10] 管法の如く可變水柱壓の場合には軸方向に無關係と考ふるは無理である．毛細管が水平に置かれた場合は嚴密に條件を滿足して居る．Auerbach-Ostwald 管の場合にても"フロー"の連續性を假定し總ての變形，"フロー"，は軸方向には無關係とする．第8圖は中空圓柱内に詰められた可塑性物質が小なる一樣な壓力 P により壓せられた場合の應力分布を示す．

先づ可塑性物質は一つの彈性式で示される樣な應力分布狀態に達し破壞强度以上に應力の達せる所に"フロー"が發生し，粘性流の領域を生ずるもので破壞强度以下の應力部は内部に"フロー"を生ずる事なく唯固體部と粘性流部とは境界に於て應力の平衡を保ちつゝ全體的に流動するものである．圓壔座標 $(r,\ \varphi,\ z)$ を用ゐに II 章 (14) 式と類似せる彈性應力平衡式は下記 (1) 式の如き事明である．



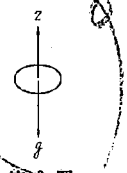
第 8 圖

$$\left.\begin{aligned} r\frac{\partial(p_{zz})}{\partial z}+\frac{\partial(rp_{zr})}{\partial r}&=0\\ \frac{\partial(r\sigma_{rr})}{\partial r}+\frac{\partial(r\sigma_{zr})}{\partial z}-p_{\varphi\varphi}&=0\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots(1)$$

但し，p_{zz}; z 軸方向の應力 p_{rr}; r 動徑方向の應力 $p_{\varphi\varphi}$; φ 方向の應力，p_{zr}; z, r 軸面内の剪應力にて第8圖に此等の關係を示す．

z 軸方向，動徑 r 方向の變形量及び三軸方向の歪を夫々 w, ρ, ε_z, ε_r, ε_t とすれば此等の間には (2) 式の如き關係ある事明かである．

$$\left.\begin{aligned}&\varepsilon_z=\frac{\partial w}{\partial z},\quad \varepsilon_r=\frac{\partial \rho}{\partial r},\quad \varepsilon_t=\frac{\rho}{r}\\&\varepsilon=\varepsilon_z+\varepsilon_r+\varepsilon_t\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots(2)$$



第 9 圖

今非壓縮性を假定すれば $\varepsilon=0$ にて一般彈性學の應力，歪關係式より下記 (3) 式を得，但し n は剛性率を示す．

$$\left.\begin{aligned}&\sigma_{zz}=2n\frac{\partial w}{\partial z},\qquad \sigma_{rr}=2n\frac{\partial \rho}{\partial r}\\&p_{\varphi\varphi}\ (\text{又は } p_t)=2n\frac{\rho}{r}\qquad p_{zr}\ (\text{又は } \tau)=n\left(\frac{\partial w}{\partial r}+\frac{\partial \rho}{\partial z}\right)\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots(3)$$

上式は軸に對し對稱の條件を滿足せるもので更に "フロー" 流線の連續性より境界條件を (4) 式の如く置く，

$$\left.\begin{aligned}&w=f(r)\qquad r=a\cdots\cdots\text{に對し } w=0\\&\rho=\phi(r)\qquad r=a\cdots\cdots\quad 〃\quad \rho=0\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots(4)$$

但し f, ϕ は任意の函數とする．且つ $p_{zz}=-g\rho z$ と置く

但し g; 重力常數，ρ; 密度とす．斯る場合は (1) 式より下記 (5) 式を得，

$$\frac{\partial \sigma_{zz}}{\partial z}+\frac{\partial \tau}{\partial r}+\frac{\tau}{r}=0\qquad \text{卽ち，}\ -g\rho+n\left(\frac{\partial^2 w}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial w}{\partial r}\right)=0$$

$$-g\rho+n\frac{1}{r}\frac{d}{dr}\left(r\frac{dw}{dr}\right)=0$$

$$\therefore\quad w=\frac{g\rho}{4n}(r^2-r_a^2),\qquad \tau=n\left(\frac{\partial w}{\partial r}\right)=\frac{g\rho}{2}r\quad\cdots\cdots(5)$$

斯る理想的な變形の場合剪應力 τ が一定の値 (τ_0) より大なる $(\tau>\tau_0)$ 領域には粘性流體の式を適用するもので，今粘性流の圓壔座標 (r, φ, z) に於て，z 軸方向の流れのみを考ふれば上述變形量 w に對應し z 軸方向に於ける速度 v_z に對する運動方程式は (6) の如し．

$$\rho\frac{dv_z}{dt}=\rho\left(\frac{\partial v_z}{\partial t}+v_r\frac{\partial v_z}{\partial r}+\frac{v_\varphi}{r}\cdot\frac{\partial v_z}{\partial \varphi}+v_z\frac{\partial v_z}{\partial z}\right)=-\frac{\partial(p+\Omega)}{\partial z}+\eta\Delta v_z$$

$$=-\frac{\partial(p+\Omega)}{\partial z}+\eta\left[\frac{\partial^2 v_z}{\partial r^2}+\frac{1}{r}\frac{\partial v_z}{\partial r}+\frac{1}{r^2}\frac{\partial^2 v_z}{\partial \varphi^2}+\frac{\partial^2 v_z}{\partial z^2}\right]\quad\cdots\cdots(6)$$

但し ρ; 密度，η; 粘性係數，p; 靜水壓，Ω; 單位容積に動く外力の "ポテンシヤル"，v_z; 軸方向の速度，g; 重力常數とす

$$\left.\begin{aligned}&\text{今}\quad \frac{dv_z}{dt}=0,\quad \frac{\partial \Omega}{\partial z}=g\rho,\quad \frac{\partial}{\partial \varphi}=0\quad \frac{\partial}{\partial z}=0\\&r=0\quad\text{にて}\quad v_z=0\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots(7)$$

の如く置けば下記 (8) 式の如くなる事明である，

$$\left.\begin{aligned}&v_z=\frac{g\rho}{4\eta}(r^2-r_a^2)\\&Q=\pi\int_0^{r_a}v_z r\,dr=-\frac{\pi}{8}r_a^4\frac{g\rho}{\eta}=-\frac{\pi}{8}r_a^4\frac{\Delta H}{\eta l}\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots(8)$$

但し，Q; 單位時間に z 方向に流出する量にて $\Delta H=g\rho l$ を示す，又毛細管長 l にて水壓力 ΔH が一端に加へられる場合も全く同様にて，以下 ΔH は斯る意味に解す可きものとす．此の場合内部に於ける應力は σ_{zr} 即ち τ 以外は全部 $(p_{rr}=0,\cdots\cdots,\ p_p=0)$ 零となる事明かである．即ち

$$p_{zr}=\tau=\eta\left(\frac{\partial v_r}{\partial z}+\frac{\partial v_z}{\partial r}\right)=\frac{gp}{2}r \qquad \cdots\cdots(9)$$

にて〔I〕章 (2) 節 (1) 式の記號に從へば，

$$\tau=\eta\left(\frac{g\rho r}{2\eta}\right)=\eta G \qquad \text{となる．}$$

毛細管長 l にて兩端に加へられる有効水壓 ΔH の場合も全く同様にして速度傾度，剪應力 τ は求められる．

$$G=\frac{\Delta H}{2l\eta}r,\ \rightarrow\ \tau=\left(\frac{\Delta H}{2l}\right)r \qquad \cdots\cdots(9)'$$

(5) 式，(8) 式，(9) 式及び (9)′ 式を比較すれば毛細管流の場合に可塑範圍，粘性流範圍兩者に於て全く同形の變形及び剪應力の分布がある．此點は第 III 章回轉圓筒の場合と頗る趣を異にしてゐる．(5) 式によりて $\tau>\tau_0$ に對する，$r_a>r>{}_0r$ の領域間は常に抵抗力 τ_0 が粘性抵抗力の外に加つてゐると考へられる場合である．

〔α〕の場合; 先づ (9) 式より

$$\frac{\partial v_z}{\partial r}=\frac{r\Delta H}{2\eta_\infty l}-\frac{\tau_0}{\eta_\infty},\qquad r_a>r>r_0 \qquad \cdots\cdots(10)$$

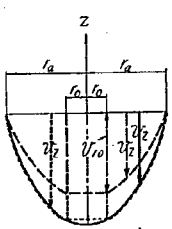
と置く，但し η_∞; 柱壓 ΔH に無係な粘性關係數とす，l; 毛細管の長さにて，ΔH; 有効水壓を表す．　∴ $2\tau_0 l=r_0\cdot\Delta H$ の $r<r_0$ に對し $\frac{\partial v_z}{\partial r}=0$ なる r_0 の値を定むる時 τ_0 は可塑的 "フロー" に對する强度を示すが粘性流内に於ては別個の物理的意義を與ふるも差支へない．(10) 式より，速度の絶對値のみを考へて

$$v_z=\int_r^{r_0}dv_z=\frac{\Delta H}{2\eta_\infty l}\left[\frac{r_a^2-r_0^2}{z}-r_0(r_a-r)\right]$$

$r=r_0$ の點に於ては

$$(v_z)_{r_0}=\frac{\Delta H}{2\eta_\infty l}\left[\frac{r_a^2-r_0^2}{z}-r_0(r_a-r_0)\right]$$

$$\therefore\quad \left.\begin{aligned} v_z&=(v_z)-\frac{g\rho r_0}{z\eta_\infty}(r_a-r) && r_a>r>r_0\\ v_z&=(v_z)_{r_0} && r_0>r>0\end{aligned}\right\} \qquad \cdots\cdots(11)$$



第 10 圖

但し，(v_z); 粘性流のみの場合の速度，斯の如き場合の管の速度分布は容易に第 10 圖點線 ② の如くなる事を知る．

(11) 式より毎秒の流量の絶對値 Q を得，

$$Q=\pi r_0^2(v_z)_{r_0}+\int_{r_0}^{r_a}v_z z\pi r\cdot dr$$

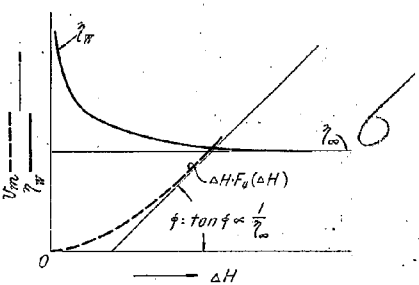
$$=\frac{r_0^4\pi\Delta H}{8\eta_\infty l}\left[1-\frac{4}{3}\left(\frac{r_0}{r_a}\right)+2\left(\frac{r_0}{r_a}\right)^2-4\left(\frac{r_0}{r_a}\right)^3+\frac{7}{3}\left(\frac{r_0}{r_a}\right)^4\right]$$

$$Q=\frac{r_a^4\pi\Delta H}{8\eta_\infty l}\left[1-\frac{8}{3}\frac{l}{\Delta H}\cdot\frac{\tau_0}{r_a}+\frac{8}{(\Delta H)^3}\left(\frac{l\tau_0}{r_a}\right)^2-\frac{32}{(\Delta H)^3}\left(\frac{l\tau_0}{r_a}\right)^3\right.$$
$$\left.+\frac{16}{3(\Delta H)^4}\left(\frac{l\tau_0}{r_a}\right)^4\right]=\frac{r_a^4\pi\Delta H}{8\eta_\infty l}\cdot F_4(\Delta H) \quad \cdots\cdots(12)$$

Q の代りに平均速度 (v_m) を用ひ，$\pi v_m r_a^2=Q$ とする．(12) 式の如く平均速度 v_m は ΔH の一次式でなく $F_4(\Delta H)$ により變るもので，(12) 式を

$$Q=\pi v_m r_a^2=\frac{r_a^4\pi\Delta H}{8\eta_W l} \quad \cdots\cdots(13)$$

と置く事により抵抗係數 (η_W) を定義すれば先づ $v_m\sim\Delta H$ 曲線を求める必要がある．抵抗係數 (η_W) は $v_m\sim\Delta H$ 曲線の各點に於ける $\left(\frac{v_m}{\Delta H}\right)$ より $\frac{v_m}{\Delta H}\propto\frac{1}{\eta_W}$ として與へられる事明かである．第 11 圖實線は $v_m\sim\Delta H$ を示し，點線は $\eta_W\sim\Delta H$ 曲線を示す．"フロー" の條件を種々假定する事により $v_W\sim\Delta H$ 曲線は種々異なる形式をとるものである．今二つの場合〔α〕〔β〕に分けて考察する．



第 11 圖

〔α〕の場合;〔a〕の場合．　最初より少くとも外圍周の點に於ても "フロー" 發生せるものとすれば第 11 圖の示す如き形式をとり源點より或る直接に近づくもので斯る假定は最も無理がない．

〔b〕の場合．最初 ΔH の値が有限値を超過するまでは外圍周の點に於ても "フロー" 發生せずと假定するもので，ΔH 軸上の一點より〔a〕の場合と同形式に從ひ $v_m\sim\Delta H$ が變る．

〔β〕の場合；以上の如く粘性流内に於ても可塑性の抵抗力 τ_0 を考へずに單に内部に固化部があるのみとすれば全く (12) 式と類似の式を得る．速度分布式 (8) の $v_z=\frac{\Delta H}{4\eta_\infty l}(r^2-r_a^2)$ に對し固化部との境界速度 $(v_z)_{r_0}=\frac{\Delta H}{4\eta_\infty l}(r_0^2-r_a^2)$ なるを以て流出量 Q は下式で與へられる，

$$Q=2\pi\int_0^{r_0}v_z\cdot r\cdot dr=2\pi\int_0^{r_0}v_z\cdot rdr+2\pi\int_{r_0}^{r_a}v_z rdr$$
$$Q=-\frac{\pi\cdot\Delta H}{8\eta_\infty l}r_a^4\left[1-\left(\frac{r_0}{r_a}\right)^4\right]=-\frac{\pi\cdot\Delta H}{8\eta_\infty l}\cdot r_a^4\left[1-\left(\frac{2\tau_0 l}{r_a\Delta H}\right)^4\right] \quad \cdots\cdots(14)$$

今流量の絶對値のみを考へ，且つ平均速度 v_m を用ふれば

$$Q=\frac{r_a^4\cdot\pi\Delta H}{8\eta_\infty l}\cdot F_5(\Delta H)=\pi v_m r_a^2 \quad \cdots\cdots(15)$$

となり，

$v_m\sim\Delta H$ 曲線より抵抗係數 (η_W) は下式

$$\frac{v_m}{\Delta H}\propto\frac{1}{\eta_W}$$

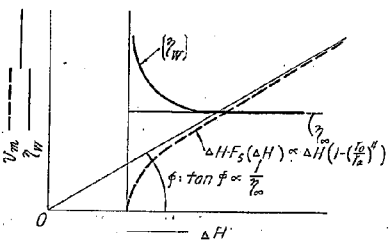
により求め得る事〔α〕の場合と同じ．(14) 式で與へられる場合の $v_m\sim\Delta H$ 曲線を第 12 圖〔a〕に示す．第 12 圖〔b〕は同じく $\Delta H\cdot F_5(\Delta H)$ の關係であるが $F_5(\Delta H)$ の項に於ける，$1-\left(\frac{r_0}{r_a}\right)^4$ の函數形により二樣に異る樣式を得るものである．

上式は毛細管流に於て "フロー" の條件を用ひて誘導せしもので "粘性流" の範圍を與ふ半徑 r_0 の變化を假定してゐる．第 12 圖〔a〕の場合は下記の如き假定による事明かである，但し $v_{(r=\infty)}$ は正規粘性液體の場合の流出平均速度を示す．

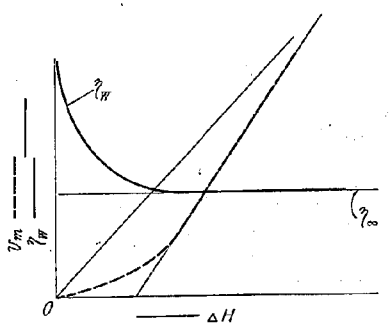
$$\left.\begin{array}{lll} \Delta H=0, & r_0>r_a & v_m=0 \\ \text{增大す} & r_0>r_a & v_m=0 \\ \Delta H=\Delta H_1, & r_0=r_a & v_m=0 \\ \text{增大す} & r_0<r_a & v_m\neqq 0 \\ \Delta H=\infty & r_0=0 & v_m=v_{(r=\infty)} \end{array}\right\}\ \text{增大す.}$$

第 12 圖〔b〕の場合には r_0 は最初の瞬間より r_a をとり且つ $e^{-\frac{1}{\Delta H}}$ に從ひ減少するものと假定した，卽ち $r_0=r_a e^{-\frac{1}{\Delta H}}$ と置く事により其の $v_m\sim\Delta H$ 曲線を得．

$\frac{v_m}{\Delta H}$ の代りに $\frac{dv_m}{d\Delta H}$ を求むる事により正規粘性の範圍が分る．$\frac{v_m}{\Delta H}$ と $\frac{dv_m}{d\Delta H}$ に對する考察は後に述べる．$v_m\sim\Delta H$ 曲線は全般に ΔH 軸に對し凹である．斯く〔β〕の場合の第 12 圖〔a〕に於て v_m が或一定の ΔH の點より出てゐる事は〔α〕(b) の場合と同じであるが $v_m\sim\Delta H$ 曲線の傾向は異るものである．第 11，第 12 圖を對照すれば其の關係明かである．卽ち〔α〕〔β〕と假定を異にすれば前者の $v_m\sim\Delta H$ 曲線は最初 ΔH 軸に對し凹となり，η_∞ を與ふ直線に近づくが後者は最初より ΔH 軸に對し凸となり，η_∞ を與ふ直線に近づくものである．且つ得られる $\eta_w\sim\Delta h$ 曲線も前者の方 η_W の大なる値を長く保つ如く變化してゐる．



第　12　圖　〔a〕



第　12　圖　〔b〕

以上の如くして毛細管法に現れる二種の代表的 $v_m\sim\Delta H$ 曲線を得た．第 II 章，第 III 章の如くして毛細管法又は回轉圓筒法に於ける特別な流れに應ずる可塑性流を伴つた然れども粘性流の領域に於ては常に或る一定の粘性抵抗 η_∞ を有するものとして η_∞ と可塑性 "フロー" とを對立し且つ重疊して取扱つたものである．

然れども一方物質常數變化の連續性の考へより乳劑內部に於ける流れに對する懸濁粒子の有效抵抗性を全く別の立場より考察し更に異つた $v_m\sim\Delta H$ 曲線及び $\theta\sim w_a$ 曲線を得た，以下之に就いて論ず．

IV　回轉圓筒法及び毛細管法に於ける異常粘性係數　(其の II)

第 II，III 章に於ては乳劑の如き粘性流をなす物質に於ても "フロー" の屈伏條件を根底として實驗結果の異常性の說明を試みた．然れども毛細管法に於ける流出速度測定も 5 分，10 分，程度のも

のを標準としたものである．松脂，ピッチの如き可塑性物質[11]も相當長時間に亙つた實驗では Hagen-Poiseuille の式に從ふ事が知られてゐる，且つ粘性と分散質の濃度との關係を見るに（詳細は續報に述べる）粘性度は Einstein,[12] Haschek[13] 著者[14]の式を見るも，

分散質の容積/分散系の容積=f

に由つて變つてゐる，此處に云ふ比 "f" は眞の量の比を示す場合と Hess[15] の不動帶 (Toter Raum) と稱す粒子の周圍に於ける流れの狀態を考慮に入れた見掛け上增大した分散質容積に對する比率を示す場合とがある，後者の場合には

今速度傾度 (G) の値に對し容積濃度 (f) は下式の如く變化すると假定する，

$$G=0 \text{ に對し } f=f_0, \qquad G=\infty \text{ に對し } f=f_\infty \cdots\cdots(1)$$

乳劑の如き分散系の粘性係數 (η_s) は分散媒粘性係數 (η_0) より (2) 式で表されるとする

$$\eta_s=\eta_0(1+\alpha\cdot f)\cdots\cdots\text{(Einstein)}^{[12]} \qquad \eta_s=\eta_0 e^{\alpha\cdot f}\cdots\cdots\text{(島田)}^{[14]} \cdots\cdots(2)$$

但し，α; f に無關係な常數とする，見掛上の容積比 f が速度傾度 G により如何に變るかは各種の (G) に對し異るもので一般的の關係式を求むる事は出來ない．

Reiner[16] は

$$\frac{df}{dG}=-C_1(f-f_\infty) \text{ 卽ち } f=(f_0-f_\infty)e^{-C_1 G}+f_\infty$$

と置き，但し C_1; 常數を表す Einstein の粘性係數式に代入し囘轉圓筒法，毛細管法に對し第 II 章 III 章に得た如く，速度傾度を夫々 $G=r\frac{d\omega}{dr}$, $G=-\frac{\Delta H}{2\cdot l\eta_\infty}\cdot r$ と置き各實驗裝置の場合に就て相當省略計算を行ひ粘性異常性を求めた．以下流體力學的に考察せん．

今或る Reynolds 數，$R=\frac{\rho_0 l v}{\eta_0}$ (但し ρ_0; 液體密度，l; 適當に選ばれた長さ，v; 速度，η_0; 液體の粘性係數とする) の流に於ける固體面に生ずる境界層 (Grenzschichtdicht) の厚さ δ は $\sqrt{R}$ に逆比例する，卽ち

$$\delta\propto\frac{\sqrt{\eta_0}}{\sqrt{G}} \cdots\cdots(2)$$

Hess[16] の不動帶の代りに "δ" により不動帶が各粒子の周圍に生ずと考ふる時は f, f_∞ の關係を容易に推測する事が出來る．卽ち

$$f=f_\infty\left(1+\frac{\sqrt{\eta_0}}{\sqrt{G}}C\right)\cdots\cdots(3)$$

と置き得，但し C; 常數，(3) 式を著者の粘性係數式に代入すれば下式の如くなる，

$$\eta_s=\eta_0 e^{\alpha\varphi}=\eta_0 e^{\alpha f_\infty\left(1+\frac{\sqrt{\eta_0}}{\sqrt{G}}C\right)}=\eta_0 e^{\alpha f_\infty}e^{\alpha f_\infty\frac{\sqrt{\eta_0}}{\sqrt{G}}C}=\eta_0 e^{\alpha f_\infty}e^{A/\sqrt{G}}=\eta_\infty e^{A/\sqrt{G}} \cdots\cdots(4)$$

但し $A=\alpha f_\infty\sqrt{\eta_0}C$ にて一定の乳劑與へらるれば全部一定のものである．(14) を囘轉圓筒法，毛細管法に適用すれば容易に粘性異常性を說明する事が出來る．

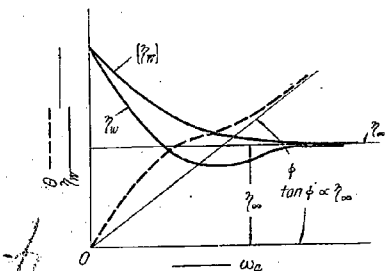
囘轉圓筒法の場合

第 II 章 (21) 式より平衡式として下記 (5) 式を得

$$K\theta=D=2\pi h' r^3\frac{\partial\omega}{\partial r}\eta=2\pi h'\cdot r^3\frac{\partial\omega}{\partial r}\eta_\infty e^{Al\sqrt{G}},\qquad G=r\frac{\partial\omega}{\partial r}\cdots\cdots(5)$$

上式より $\frac{\partial\omega}{\partial r}$ を解き更に速度傾度より ω_a との關係を求め $K\theta$ より各點に相當する抵抗性 η_w を求むべきも實驗上に於て同心圓筒内の平均速度傾度を考へ $e^{Al\sqrt{G}}$ 項の G には斯の如きものを代入すれば充分である．卽ち η_∞ なる係數が第 II 章 (23) 式の $G_m\propto\omega_a$ により與へられ $e^{Al\sqrt{G}}$ 倍された抵抗係數となると假定すれば上式は下記 (6) 式の如くなる，

$$K\theta=D=4\pi h'\frac{r_a^2r_i^2}{r_a^2-r_i^2}\eta_\infty\cdot\omega_a\cdot e^{Al\sqrt{G}}\cdots\cdots(6)$$



第　13　圖

$\omega_a\doteqdot0$ に於ける振れ θ を求むるに $\omega_a e^{Al\sqrt{\omega_a}}=0\cdot\infty=\infty$ となる．

今 (2) 式の代りに $\delta\propto\frac{\sqrt{\eta_0}}{\sqrt{G_0+G}}$ と置く，但し G_0; 常數とす．(6) 式の變數の項に於て ω_a に相應し常數 ω_0 を G_0 の代りに置くと下記 (7) 式の如くなる．

$$\omega_a\cdot e^{Al\sqrt{(\omega_0+\omega_a)}}\cdots\cdots(7)$$

斯る場合の $\theta\sim\omega_a$ 曲線は第 13 圖點線の如くなる，$\theta\sim\omega_a$ 曲線より η_w を求むるに，此の場合 $\frac{d\theta}{d\omega_a}$，$\frac{\theta}{\omega_a}$ の 2 種を考へてゐる．前者を第一種抵抗性，後者を第二種抵抗性と稱す．

$\frac{d\theta}{d\omega_a}$……第一種抵抗性$\propto\eta_w$,　　$\frac{\theta}{\omega_a}$……第二種抵抗性$\propto[\eta_w]$

で表せば前者は $d\theta\propto\eta_w d\omega_a$ なるを以て正常粘性流の範圍を調べるによく，後者は或る運動狀態に對する抵抗力を基本式を標準として表はす場合によい．二者は $\theta\sim\omega_a$ 曲線の形により大なる偏差を來さない場合と第 13 圖に示す如く異常に異る場合とがある．

回轉圓筒法，毛細管法各種の $\theta\sim\omega_a$ 曲線，又は $v_m\sim\Delta H$ 曲線に應じ η_w 又は $[\eta_w]$ を以て圖示して置いた．(第 6 圖，7 圖，11 圖，12 圖，13 圖，14 圖〔b〕參照)

毛細管法；第 III 章 (5) 式と (4) 式卽ち

$$\tau=\eta\frac{\partial v_z}{\partial r}=-\frac{\Delta H}{2l}r,\qquad \eta_s=\eta_\infty e^{Al\sqrt{G}}\qquad \text{より}\ \eta=\eta_s\ \text{なるを以て直ちに}$$

$$-\frac{\partial v_z}{\partial r}=\frac{\Delta H}{2l\eta_\infty}\cdot r\cdot e^{-Al\sqrt{\tau}}\cdots\cdots(7)$$

を得，(7) 式より v_z，及び單位時間當り流出量 Q を得，$\frac{\pi\Delta Hr_a^4}{8l\eta_w}$ と比較して抵抗係數を求む，先づ (7) 式より

$$-v_z=\int_0^r\frac{\Delta H}{2l\eta_\infty}\cdot r\cdot e^{-Al\sqrt{\tau}}\cdot dr$$

今 $\frac{1}{r}=R^2$，と置けば $-\frac{1}{r^3}=2R\frac{dR}{dr}$ にて，上式を積分すれば

$$-v=-\left(\frac{\Delta H}{2l\eta_\infty}\right)2\left\{\frac{e^{-AR}}{4R^4}-\frac{Ae^{-AR}}{4\cdot3R^3}+\frac{A^2e^{-AR}}{4\cdot3\cdot2R^2}-\frac{A^3\cdot e^{-AR}}{4\cdot3\cdot2\cdot1\cdot R}+\frac{A^4}{4\cdot3\cdot2\cdot1}\int\frac{e^{-AR}}{R}dR\right\}$$

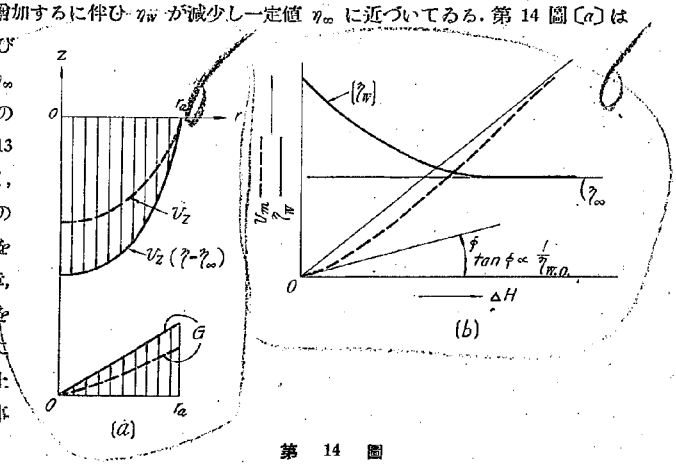
$$=-\left(\frac{\Delta H}{2l\eta_\infty}\right)2\left\{e^{-\frac{A}{\sqrt{r}}}\left(\frac{r^2}{4}-\frac{Ar^{\frac{3}{2}}}{4\cdot3}+\cdots\cdots\right)-e^{-\frac{A}{\sqrt{r_a}}}\left(\frac{r_a^2}{4}-\frac{Ar_a^{\frac{3}{2}}}{4\cdot3}+\cdots\cdots\right)\right.$$

$$\left.+\frac{A^4}{4\cdot3\cdot2\cdot1}\left[E_i\left(-\frac{A}{\sqrt{r}}\right)-E_i\left(\frac{A}{\sqrt{r_a}}\right)\right]\right\}\quad\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots(8)$$

但し，$E_i(-x)=\int_\infty^x\frac{e^{-x}}{x}dx\cdots\cdots$ は指數積分を示すものにて，$E_i(-x)$ の値は，例へば Janke-Emde の表より容易に求むる事が出來る．$x=0$ に對し $-\infty$ なれども上式に於ける如く $r=0$ 及び有限値間の値に對して容易に計算し得．(8) 式より計算上 $\int v_z2\pi rdr\cdots\cdots$ を求めるより圖式による方，便である．

斯くして第 14 圖の如き $v_m\sim\Delta H$ 曲線を求め得．

$v_m\sim\Delta H$ 曲線より $\eta_w\sim\Delta H$ 曲線を求むるは全く第 III 章の場合と同樣である．唯此場合は或る一定値の η_w より ΔH の增加するに伴ひ η_w が減少し一定値 η_∞ に近づいてゐる．第 14 圖〔a〕は (8) 式で示さる v_z の分布及び速度傾度 (點線) の兩者の η_∞ の場合に於ける夫々(實線) のものとの比較を示す．第 13 圖第 14 圖で明かなる如く，本章の如く Hess の不動帶の考へに速度傾度による影響を假定する事により第 II 章，第 III 章に得しものと趣を異にせる $\theta\sim\omega_a$ 曲線竝に $v_m\sim\Delta H$ 曲線を得た，實驗上斯くの如き場合に遭遇する事がある．



第　14　圖

V　異常粘性液體の回轉圓筒法竝に毛細管法に於ける $\theta\sim\omega_a$ 曲線及び $v_m\sim\Delta H$ 曲線

〔1〕 $\theta\sim\omega_a$ 曲線，$v_m\sim\Delta H$ 曲線の分類．

第 II 章，III 章，IV 章に詳論せし如く異常性液體の內部抵抗性の測定は回轉圓筒法竝に毛細管法に於ける懸垂線條の振れ θ と外部圓筒回轉角速度 ω_a との關係式及び毛細管法に於ける平均流出速度 v_m 加水壓 ΔH との關係式より求める．此等の曲線として種々の假定の下に，

回轉圓筒の場合，5 種 (第 6 圖〔a〕，〔b〕，〔c〕，第 7 圖，第 13 圖) の $\theta\sim\omega_a$ 曲線を得た．

毛細管法の場合，3 種 (第 11 圖第 12 圖〔a〕，〔b〕第 14 圖〔b〕) の $v_m\sim\Delta H$ 曲線を得た．

各種の異常性により正規粘性液に對する基本式の與へる直線形より偏差を來してゐる．此等の曲線

の特長を列擧すれば下の如し.

囘轉圓筒法 $\theta\sim\omega_a$ 曲線;

(i) $\theta\sim\omega_a$ 曲線は θ, ω_a 座標の源點より出で ω_a 軸に對し凸である, 且つ $\frac{d\theta}{d\omega_a}$ は常に同符號 (第 6 圖〔a〕〔c〕第 7 圖) である.

(ii) 源點より出ず, θ 軸上の一點より (i) と同樣の傾向をとる (第 6 圖〔b〕① ② 曲線).

(iii) 源點に於て $\frac{d\theta}{d\omega_a}=\infty$ の如きもの多し, 但し $\frac{d\theta}{d\omega_a}=$ 一定値のものもある (第 7 圖第 13 圖).

(iv) $\theta\sim\omega_a$ 曲線に變曲點のある場合 (第 13 圖), 以上の外例へば (i) に於ける $\theta\sim\omega_a$ 曲線の彎曲度 $\frac{d^2\omega_a}{d\theta^2}$ に大小あるものにて, 第 6 圖〔a〕〔b〕に一例を示す. $\theta\sim\omega_a$ 曲線より内部抵抗係數 η_w を誘導するに形式上二種を考へ得. 其の意義に就ては第 IV 章に既に述べた, 卽ち

$$\text{第一種抵抗係數; } \eta_w\propto\frac{d\theta}{d\omega_a},\qquad \text{第二種抵抗係數; } [\eta_w]\propto\frac{\theta}{\omega_a}$$

を得.

毛細管法 $v_w\sim\Delta H$ 曲線;

(i) $v_m\sim\Delta H$ 曲線は ΔH 軸上の一點より ΔH 軸に對し, 凸である, 且つ $\frac{dv_m}{d\Delta H}$ は同符號にて, 直線に近づく (第 12 圖〔a〕又最初 ΔH 軸に對し凹であり直線に近づく (第 11 圖)

(ii) $v_m\sim\Delta H$ 曲線は源點より出で ΔH 軸に對し凹であり遂に直線關係に移る (第 12 圖〔b〕).

(iii) $v_m\sim\Delta H$ 曲線の彎曲度 $\frac{d^2v_m}{d\Delta H^2}$ には大小がある (例へば第 11 圖の一部, 第 12 圖).

(iv) $v_m\sim\Delta H$ 曲線は源點より出て, ΔH 軸に對し凹となり源點を通る直線に近づく (第 14 圖〔b〕).

$v_m\sim\Delta H$ 曲線より抵抗係數を求むる事は全く囘轉圓筒法の場合と同樣である. 毛細管法の場合は曲線より判斷さる如く第二種抵抗係數 $\propto\frac{v_m}{\Delta H}$ を用ひる方便利の事がある. 以上得たる各種の異常粘性が瀝靑乳劑の場合に如何に適應されるかを實驗と比較考察するは乳劑中に於ける流れの狀態を推測する手段ともなる[2] 且つ乳劑中に於ける瀝靑粒子の分散と如何なる關係にあるや, 溫度より蒙る影響, 瀝靑質の濃度に對する影響をも合せ實驗し, これが $\theta\sim\omega_a$ 曲線 $v_m\sim\Delta H$ 曲線に及す影響と比較すれば一層此種分散系の異常粘性の構造を明明するに役立つ.

本論の瀝靑乳劑試料に對する實驗を述べる前に上述各種の形式の正しき事を確める爲めに瀝靑乳劑以外の乳劑に對する異常粘性に就き多數の研究者による實驗結果を參照し本論の異常曲線との關係を考察する.

〔2〕 分散系に於ける異常粘性の二三の實例に就て

第 I 章に述べた樣に瀝靑乳劑類似の組織を持つ分散系又は分散質の複雜な形狀を有する場合は勿論の事縮合性の溶液にても粘性の異常性を呈するもので此等實驗の結果による異常性は本章〔1〕節に分類した形式の何れかに屬すべきである. 本節は直接乳劑の實驗とは關係なきも誘導公式の利用上より云ふも同樣の異常粘性の構機を考察する點より云ふも重要なれば簡單に記述し比較對稱する.

Henry Green[17] は塗料の研究に當り小なる毛細管より溶液を壓出せしめ $v_m\sim\Delta H$ 曲線を求めた.

Bingham[18] も粘土に水を混し可塑性を與へ, 同樣の實驗を試み兩者共に全く第 12 圖〔b〕の如き $v_m\sim\Delta H$ 曲線を得た. 彼等は直線部の延長と ΔH 軸との交りを屈伏點と稱へ, 直線部の $\frac{dv_m}{d\Delta H}\propto\frac{1}{\eta_\infty}$ を易動度と稱へた.

A. Szegvari[19] は第 II 章に述べた樣に彈性的液體 (Elastische Flussigkeit) の考へを初めて試みた

人で一般抵抗性として，$\eta=\frac{\theta}{G+K}+\eta_\infty$ (但し G は速度傾度，η_∞ は $G=\infty$ に對する η, θ, K 常數) と置き $\theta\sim\omega_a$ 曲線を求めてゐる．

W. H. Herschell, R. Buckley[20] は "ゴム" の "ベンヂン" 溶液の粘性を測定し，1%～0.2% の濃度にても著しき可塑性の影響を見た．$v_m\sim\Delta H$ 曲線の代りに q (流量) と p (加壓) との關係を求め $q=kp^n$ 又は $q=k(p-A)^n$ の式を得たが全く第 12 圖〔b〕及び第 14 圖の如きものである．

西川氏[21]も淘土及び粘土の加水による膨潤影響を吟味する目的で Ostwald 管にて種々の加壓で實驗し構造粘性の存在する事を述べてゐるが，G. W. Blair[22] は粘性の異常性は親水 "ゾル" の特長であり構造粘性は總ての "ゾル" に現はれるものでなく，上述西川氏の實驗も直線で示し得る事を述べでゐる，然れども濃度 30% 位のものは第 12 圖〔a〕の如く，濃度 10%，20% 位のものは源點に近く ΔH 軸を切る，第 11 圖〔a〕の如き $v_m\sim\Delta H$ 曲線のもの>様である．

W. O. Ostwald[23] の構造粘性の研究によれば "ゾル" の $v_m\sim\Delta H$ 曲線は曲線をなすもので，粘土淘土 10% の稀薄溶液にても構造粘性が明瞭に認められ色素 (Baum Wolle) の場合 $v_m\sim\Delta H$ 曲線には異様のものが測定されてゐる．例へば第 12 圖〔b〕の如きもの以外に第 14 圖〔b〕の彎曲度の更に大なるものがある．植物油 (亞麻仁油，向日葵油) の構造粘性と分子構造の研究がある．其の他 Rudolf Auerbach,[24] Hatscheck,[25] O. Sibree,[26] Wo. Ostwald,[27] Reiner, [27] Eisenschnitz[28] 等異常粘性係數の研究は枚擧に遑がない．

特に Reiner[27] は回轉圓筒式の實驗に於て，第 13 圖の如き特異ある $\theta\sim\omega_a$ 曲線を得た．

Eisenschnitz は "セルローズエステル" の構造粘性の研究に於て，毛細管中の速度傾度 $G=\frac{\partial v_z}{\partial r}$ と剪應力 "τ" の間に $f(\tau)=\frac{\partial v_z}{\partial r}$ なる函數關係があると假定し，實驗値$\left(\frac{r_a p}{2l}\right)$ と $\left(\frac{Q}{r_a^3}\right)$ との關係より逆に f の函數を求め然る後粘性係數 η と ΔH の曲線を誘導した．蓋し $\frac{r_a p}{2l}$ 中の p は加壓力にて管の斷面中の最大速度傾度である．其の他多數のものあるも省略する．

以上の如く乳劑の如き "ゾル" の異常粘性の研究の一端を窺ふも回轉圓筒法及び毛細管法の實驗に於ける，$\theta\sim\omega_a$ 曲線及び $v_m\sim\Delta H$ 曲線は本章〔1〕節に列擧せる各種の形式中の何れか著しくは其の組合せにて示す事を得．其れ故〔1〕節の分類は相當一般性を有するものである．

VI 鋪裝用瀝青乳劑の異常粘性の實驗的研究 (其の I)

〔1〕 總 說

第 I 章，第 V 章，〔2〕節に述べた様に乳劑の如き "ゾル" は異常粘性を有するものであるから實驗に際して測器中に於ける流れの狀況即ち速度傾度の影響を蒙る事が多い．鋪裝用瀝青乳劑に於ては粘性係數を示すに實用の便宜上 Engler 粘度計による値を使用してゐる．續報に詳論するも速度傾度の値域範圍に涉り變化するもので本論の理論と比較研究するには不適當と考ふ．

速度傾度の明かなる流れの狀態を呈す測定器で試みる必要がある，其れ故著者は第 II 章，第 III 章の方法を使用した．Engler 比粘度によるものは本論の直接の目的でないが前二者と比較對照する事は重要な資料を提供するから此等 3 種の値を論究する．以下 3 種の測定法，測定値に就き順次論ずる．

(I) 回轉圓筒法 (Rotationsviskosimeter, Couette-Apparata)

(II) 毛細管法 (Kappillarviskosimeter, Auerbach-Ostwald Apparata)

(III) "エングラー" 比粘度計 (Engler'sche Viskosimeter)

〔2〕 試料瀝青乳劑に就て

本研究に使用せしものは國産鋪裝用瀝青乳劑の滲透用，散布用のものより瀝青粒子，粒子の大きさの異なる4種を任意に選んだ．比較的粒子分散に對し代表的のものである．瀝青乳劑の物理的性狀に關し其の一部は著者が試驗所報告第 26 號[29]に述べた．瀝青乳劑なる瀝青～水エマルジョンは同樣仕樣のものにても製造月日等により粒子の分散等全く同一のものを得る事は困難と推測する．本實驗の如く流れに對する抵抗性の研究は分散系の力學的要素に支配される事頗る多く粒子の分散度は重要な事項であるから各試料に就き著者の方法により此が測定をし確率直徑等を定めた．試料として第 26 號報告中 G, H, E, F 號と稱へしもの＞更に製造月日の新しき製品を用ひた．第1表は試料の工學上の諸性質で所員福島，山下兩氏の測定による．卽ち第1表により G, H 號は滲透用，E, F 號は混合用である事を知る．

第1表

試料名	G	H	F	E
比重	1,017	1,010	1,007	1,006
比粘度エングラー度(25°C)	7.5	8.1	2.6	3.8
,, (4°C)	10.4	10.9	3.6	5.7
瀝青質 %	57	53	50.3	50.8
同上比重	1,0173	1,0189	1,0163	1,0137
針度 25°C. 100 gr. 5 set	83	123	122	142
延性 15°C. 5 cm./mm.	>100 cm.	42 cm.	>100 cm.	>100 cm.
軟化點	49°	42	43.5	39
分解速度	60 m.	40 m.	40 m.	35 m.
貯藏安定度 7 日	1.2	0.9	0.9	0.3
粒子確率直徑	0.8 μ	1.2 μ	2.3 μ	4 μ

第2表は各種乳劑を "オレイン" 酸曹達溶液 (0.25%) にて稀釋せしもの＞顯微鏡寫眞 (第 15 圖〔1〕, 〔2〕, 〔3〕, 〔4〕) より粒子の直徑と數とを粒子數約1000個に對し測定し之を表示したものである．

表中 D_0 は平均直徑を示すもので，$\overline{D}_w$ は確率直徑にて，D_0 とは下式の關係にある；$D_0 \fallingdotseq 1{,}127\overline{D}_w$. D_w は第二確率直徑にて，第 16 圖の分布實測曲線の最大濃度を與ふ直徑である．第 15 圖は顯微鏡寫眞を示す．撮影方法等全く前論文の場合と同樣である．G 號粒子の如何に小なるかを知る事が出來る．

乳劑の粘性は單に粒子の大小のみならず，分散度にて影響を蒙ると推察されるも，一方著者は瀝青乳劑に於ては分散度は粒子の平均直徑と一定の關係にある事を明かにした．

力學系に重要な關係を持つ要素であるから本論の試料に就ても詳細に吟味した．第 16 圖〔1〕, 〔2〕, 〔3〕, 〔4〕 は試料 G, H, E, F 號に對する粒子分布曲線で實測値は點線で示し，實線は著者の分散公式なる理論式 (1) を示す．

$$dN = N\frac{4\beta^3}{\sqrt{\pi}}\cdot e^{-\frac{4\pi}{kT}\cdot\left(-\gamma_{AB}+\frac{2\pi\sigma^2 d}{D}\right)r^2}\times r^2 dr \quad \cdots\cdots(1)$$

但し N; 單位容積中に存在する粒子總數，k; Boltzmann の常數，T; 絶對溫度，γ_{AB}; 分散二成分間の界面張力，d; 電氣二重層の假設的厚み，σ; 電氣二重層の單位面積當り假設電氣量．

D; 電氣二重層中の平均電媒常數，$\beta^2=\frac{4\pi}{kT}\left(-\gamma_{AB}+\frac{2\pi\sigma^2 d}{D}\right)$ とすれば，確率直徑 D_w は下式により示さる．

第2表　顯微鏡法による試料分散表（第15圖を更に擴大す）

(1) 試料　G號　顯微鏡寫眞倍率　2240 倍

$D_0=0.88\,\mu$; $\overline{D}_w=0.80\,\mu$; $D_w=0.74\,\mu$.

直徑範圍 d_m mm	粒子數 $(\Delta N)_m$	$d_m(\Delta N)_m$ mm	$\frac{(\Delta N)_m}{\Sigma(\Delta N)_m}$ ×100	粒子各階平均直徑 (μ)	$\frac{\Delta N}{\Sigma \Delta N}$ ×100
0—1	52	31.0	5.2	0.22	11.6
1—2	534	801.0	53.5	0.67	119.8
2—3	326	815.0	32.7	1.11	73.3
3—4	71	248.3	7.1	1.56	15.9
4—5	12	54.5	1.2	2.01	2.7
5—6	2	11.0	0.2	2.46	0.5
	$\Sigma=997$	$\Sigma=1960.3$			

(2) 試料　H號　顯微鏡寫眞倍率　460 倍

$D_0=1.5\,\mu$; $\overline{D}_w=1.35$; $D_w=1.20\,\mu$.

直徑範圍 d_m mm	粒子數 $(\Delta N)_m$	$d_m(\Delta N)_m$ mm	$\frac{(\Delta N)_m}{\Sigma(\Delta N)_m}$ ×100	粒子各階平均直徑 (μ)	$\frac{\Delta N}{\Sigma \Delta N}$ ×100
0. —0.5	468	117.0	38.0	0.55	35.0
0.5—1.0	595	446.0	48.3	1.65	44.5
1.0—1.5	141	176.2	11.4	2.72	10.5
1.5—2.0	12	21.0	1.4	3.81	0.9
2.0—2.5	10	22.5	0.8	4.90	0.7
2.5—3.0	4			5.99	0.1
3.0—3.5	1	3.3	0.1	7.07	0.1
3.5—4.0	1	3.8	0.1	6.16	0.1
	$\Sigma=1232$	$\Sigma=849.8$			

(3) 試料　F號　顯微鏡寫眞倍率　490 倍

$D_0=2.68\,\mu$; $\overline{D}_w=2.38\,\mu$; $D_w=2.30\,\mu$.

直徑範圍 d_m mm	粒子數 $(\Delta N)_m$	$d_m(\Delta N)_m$ mm	$\frac{(\Delta N)_m}{\Sigma(\Delta N)_m}$ ×100	粒子各階平均直徑 (μ)	$\frac{\Delta N}{\Sigma \Delta N}$ ×100
0—0.5	29	7.3	3.8	0.51	3.7
0.5—1.0	210	157.4	27.4	1.53	27.0
1.0—1.5	289	361.8	37.7	2.54	37.1
1.5—2.0	154	269.6	20.1	3.56	19.8
2.0—2.5	60	135.0	7.3	4.58	7.7
2.5—3.0	9	24.8	1.2	5.60	1.2
3.0—3.5	9	29.2	1.2	6.62	1.2
3.5—4.0	3	11.3	0.4	7.64	0.4
4.0—4.5	3	12.7	0.4	8.66	0.4
	$\Sigma=766$	$\Sigma=1099.1$			

(4) 試料　E號　顯微鏡寫眞倍率　490 倍

$D_0=4.57\,\mu$; $\overline{D}_w=4.05\,\mu$; $D_w=4.00\,\mu$.

直徑範圍 d_m mm	粒子數 $(\Delta N)_m$	$d_m(\Delta N)_m$ mm	$\frac{(\Delta N)_m}{\Sigma(\Delta N)_m}$ ×100	粒子各階平均直徑 (μ)	$\frac{\Delta N}{\Sigma \Delta N}$ ×100
0.5—1	101	75.6	15.5	1.53	7.6
1—2	211	316.6	32.4	3.06	15.9
2—3	217	542.5	33.3	5.10	16.3
3—4	67	234.4	10.3	7.13	5.1
4—5	30	135.0	4.6	9.17	2.3
5—6	14	77.0	2.1	11.20	1.0
6—7	8	52.0	1.2	13.22	0.6
7—8	4	30.0	0.6	15.28	0.3
	$\Sigma=652$	$\Sigma=1463.1$			

$$D_w=2r_w=2\frac{1}{\beta}=\frac{1}{\sqrt{-\gamma_{AB}+\frac{2\pi\sigma^2 d}{D}}}=\frac{1}{\sqrt{-\gamma_{AB}+\beta\zeta^2}} \quad \cdots\cdots(2)$$

但し ζ; 動界面電位差を示すものとする.

$$\text{平均直徑}\quad D_0=\frac{\Sigma d\cdot N_d}{\Sigma N_d}=\frac{\int_0^\infty Nd\,\frac{4\beta^3}{\sqrt{\pi}}e^{-\beta^2 d^2}\cdot d^3 d(d)}{N}\fallingdotseq 1.127\overline{D}_w$$

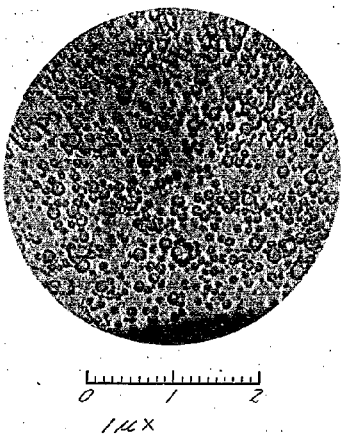
以上 D_w, D_0 竝に $\overline{D}_w$ は主要なるものであるから第2表に記入した.

以上の如き考察を經て，本資料としての乳劑は一峯的な分散度 (1) 式を有する "ゾル" であり且つ確率直徑は下記の如き事が明かとなつた.

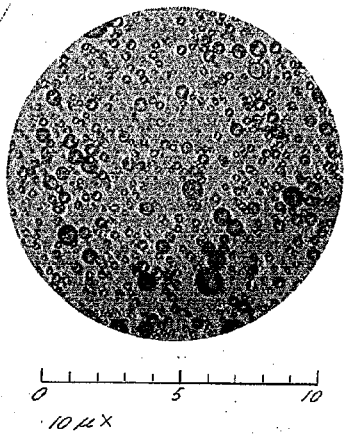
第3表

試料名	G	H	F	E
確率直徑 D_w	0.8 μ	1.2 μ	2.3 μ	4.0 μ

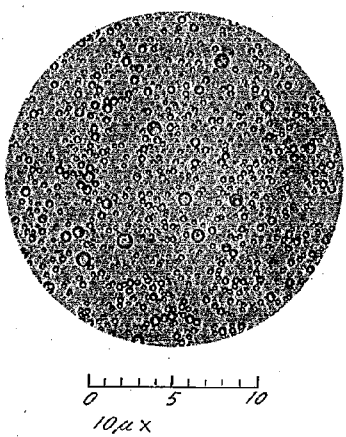
〔1〕
試料名；G 號　倍率　×1400



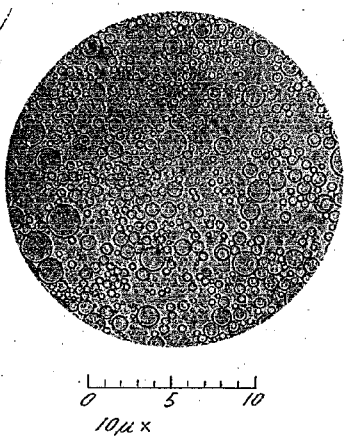
〔2〕
試料名：H 號　倍率　×460



〔3〕
試料名；F 號　倍率　×287



〔4〕
試料名；E 號　倍率　×287



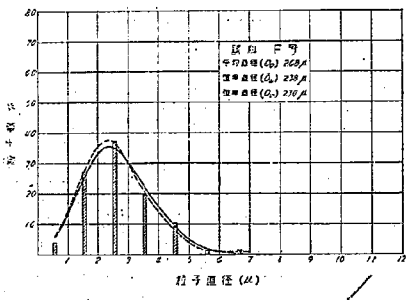
第 15 圖

〔3〕 乳劑濾液の粘性係數に就て

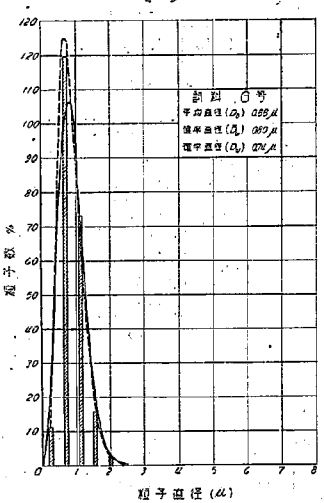
乳劑の粘性係數を左右するものは懸濁粒子の分散度と分散媒卽ち濾液 (Ultrafiltrat) の粘性 (η_0) である．乳劑たる分散系の粘性係數と濾液の粘性との間に理論的關係を求むる事が出來れば乳劑の粘性に對する構造を一層明かにする事が出來る．兩者の間に直線的な關係あるや否やを考察する方便とし濾液の粘性を調べた．

第 16 圖

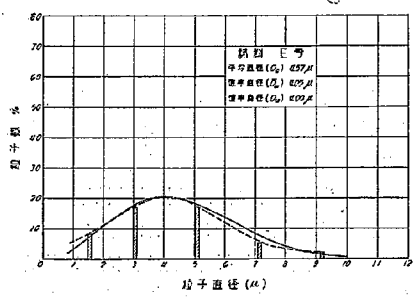
〔3〕



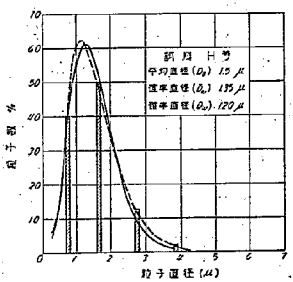
〔1〕



〔4〕



〔2〕



乳剤内に存する如き濾液を作る事は理論上實驗上困難である．濾過の方法及び空氣中の濕度等により相當偏差ある如く見へるが濕度 100% に近き暗所に於て分析用（東洋フイルターペーパー會社）の濾紙を用ひ濾過液を作つた．1400 倍の倍率顯微鏡下により瀝青分無きを確めた．感度 0.1°C 度の恒溫水槽内に於て Ostwald 管を用ひて測定し同時に蒸溜水を用ひ流出時間 (t_ω) を測り下式より濾液の粘性係數を求めた．

$\eta_0 = Ct_0\rho$，但し C は常數にて，$\eta_\omega = Ct_\omega\rho_\omega$ より求める，ρ_0，ρ_ω は濾液及び蒸溜水の密度，t_0，t_ω は濾液及び蒸溜水の流出時間を示す．二個の Ostwald 管 (No. 1, No. 2) を使用す，常數 C は No. 1 にて $C=0.000124$, No. 2 にて $C=0.0002184$ である．

標準使用液量；5 cc　　實驗溫度攝氏 25°C,

水に對し $\eta_\omega=0.0089$,　　$\rho_\omega=0.997$ とする．

實驗は各試料に對し 5 回の平均値をとる．實驗精度は ±0.1% 以上である．實驗値 t_0 は濾液粘性係數が直接の目的でないから此處に記載する事を省略す．

濾液比重 (25°C)

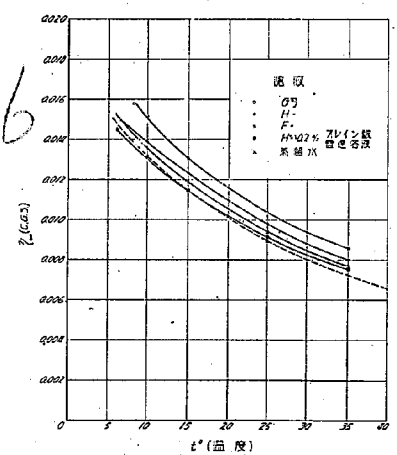
試料名	G	H	F	E
ρ_0	1.013	1.013	1.008	1.001

本實驗に使用せし "オレイン" 酸曹達の 0.25% 溶液に就ても粘性係數を測定した. Ostwald 管による結果を第4表に示す. η_0 の計算に用ひた密度 ρ_0 は攝氏 25° にて左表の如し.

第 4 表 濾過溶液及び "オレイン" 酸曹達溶液の粘性係數

試料名 / 温度 t°C	G	H	F	E	オレイン酸曹達溶液	蒸溜水
5°	0.0179	0.0157	0.0161	0.0149	實驗の誤差範圍内で全く, E 號の η_0 の値と一致する	0.0152
10	0.0139	0.0139	0.0135	0.0130		0.0132
15	0.0124	0.0124	0.0119	0.0115		0.0115
20	0.0116	0.0109	0.0105	0.01020		0.0101
25	0.00976	0.0098	0.0094	0.00911		0.0089
30	0.0094	0.0088	0.0085	0.00820		0.0080
35	0.0086	0.0080	0.0077	0.00757		0.0072

斯くして得た η_0 と溫度との關係を圖示すれば第 17 圖の如くなる. 圖により明らかなれども大體蒸溜水と同じ程度の粘性係數を有するも蒸溜水は溫度 t 軸に對し凹度が大である. 續報遲青乳劑の速度傾度の影響なき領域に於ける粘性係數 (η_∞) と溫度との關係を考察する際, 分散媒粘性係數 (η_0) の溫度との關係を比較することにより種々重要な結果を得. 本節に於ては粘性係數と溫度との理論的考察は避けるが第 4 表より $\log \eta_0$ と絶對溫度 (T) の逆數との關係を得.



第 17 圖

第 18 圖は對數座標 $\log \eta_0$ を縱座標にとり $1/T$ を横座標にとりて η_0～T の關係を示した. 乳劑の濾過液, 粘性係數の値は全部實測の溫度範圍に於て直線の上に來る. 唯蒸溜水の $\log \eta_0$～$1/T$ 點が實驗範圍の低溫部に於ては未だ著しく表はれてないが $1/T$ 軸に對して凹になつてゐる, 即ち水は低溫度に於て縮合し分子構造を異にし斯く直線形より偏るとされてゐる. 其の詳細は後章に述べる. 乳劑の濾液が全部 $\log \eta_0$～$1/T$ 直線に從つてゐる事は注目に價する.

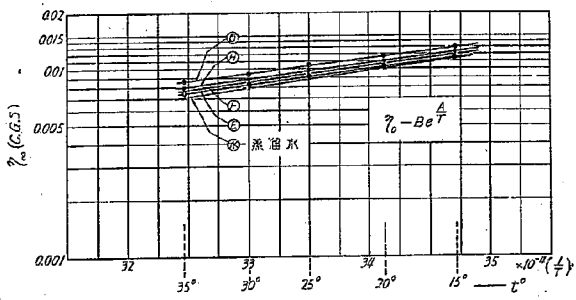
第 18 圖より η_0 は下式 (3) で示さる事を知る.

$$\eta_0 = Be^{A/T} \quad \cdots\cdots (3)$$

但し e; 自然對數の底數, A, B; 各試料特有の常數を表す. 第 18 圖各直線より A, B の値を容易に求め得. 第 5 表の如し.

第 5 表

試料名＼常数	$A\times10^{4}$	$B\times10^{-4}$
G	0.1913	1.716
H	0.1955	1.391
F	0.1940	1.405
E	0.1903	1.544



第 18 圖

A, B は皆相等しき値を示してゐる．常数 A, B の物理的意義竝に乳劑の粘性係數（η_W）と η_0 との關係は後に述べる．次章より乳劑の實驗的研究を述べよう．

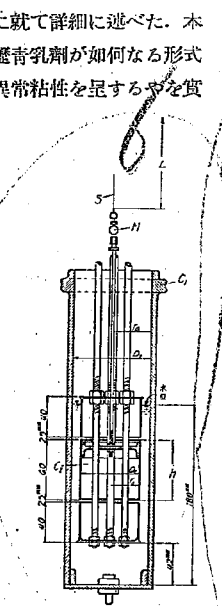
VII 實驗的研究（其の II）

同轉円筒法による實驗

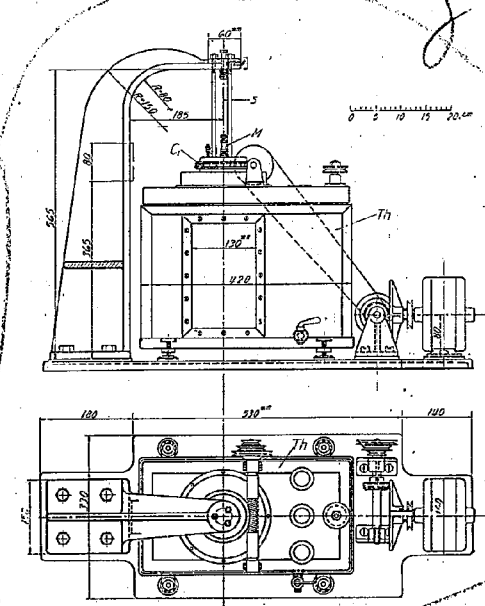
〔1〕 實驗裝置に就て．

第 II 章に於て同轉圓筒法に關する一般的考察を述べ異常粘性液體の場合に測定される抵抗係數の意義竝に其の數値に就て詳細に述べた．本章に於ては鋪裝用瀝青乳劑が如何なる形式の構造粘性，卽ち異常粘性を呈するやを實驗せるものである．

第 19 圖〔b〕は實驗裝置の外觀を示すものである．圖面により明かなる如く，S は中央部の腕より懸吊された燐靑銅の線條で其の下部に平面鏡 M を備ふ，其の下端に眞鍮棒固定され其の下端に圓筒 C_2 が固定されてゐる．第 19 圖〔a〕は同心圓筒部の斷面圖にて外部圓筒



第 19 圖〔a〕



第 19 圖〔b〕

線條番號	寸法		
	幅	厚	長
No. 1	1.21 mm	0.26 mm	10.78 cm
No. 2	1.39 mm	0.095 mm	9.25 cm
No. 3	圓形直徑	0.743 mm	10.1 cm

C_1 內部圓筒 C_2 の相互關係を示す．內部圓筒 C_2 の上下部には保護圓筒を備へ圓筒內の流れに於ける端子影響を除く．裝置の寸法は大體 E. Humphy[30] の使用したものに準じたが構造は二三改良した．主要寸法は下記の如し．

外部圓筒半徑; $r_a=4$ cm，內部圓筒半徑; $r_i=3$ cm，內部圓筒高さ; $h=6$ cm.

使用燐靑銅線條は試料の粘性に應じ3種を用ひた．

試料は常に 700 cc 入れ圓筒內の水位を一定にした．第 19 圖〔b〕の Th は恒溫水槽にて ±0.5°C 程度の溫度調節器により恒溫に保つ．試料挿入後約一時間後粘性を測定した．內部溫度の一樣性は最初 32. *G.B.W.* の銅，コンスタンタン熱電對で測定し一時間にて充分に溫度一樣になるを確めた．先づモーターより一定の回轉運動が外部圓筒に與へられる，此際內部圓筒にては溶液の粘性により同方向に回轉力が與へられ中央に懸吊された線條の彈性抵抗と平衡するに至る．其の時の振れの角 (θ) をランプ～スケール法にて測定する．本實驗に於ては一定の平衡狀態に達するまでの過度的變化は考慮に入れない．

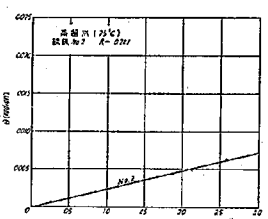
屢々第 II 章に述べた樣に速度傾度は重要な要素であるから本裝置に於ける値を計算してみる．II 章 (20) 式により速度傾度，$G=r\dfrac{\partial\omega}{\partial r}=\dfrac{2r_a^2\cdot r_i^2}{r_a^2-r_i^2}\cdot\dfrac{1}{r^2}\omega_a$ を計算すれば下式の如くなる．

$$G=41.14\frac{1}{r^2}\omega_a \cdots\cdots r=3\text{ cm.}\sim 4\text{ cm.} \cdots\cdots (1)$$

但し ω_a は ラヂアン/秒 を表すもので毎秒回轉數を N とすれば $\omega_a=2\pi/N$ で表はさるべきものとす．實驗としては $\omega_a=5$ までにて充分である．最大速度傾度 $G=41.14\times5\times\dfrac{1}{r^2}$ (*C.G.S.* 單位) である．第 II 章 (22) 式

$$D=k\theta,\qquad \eta=k\cdot\frac{r_a^2-r_i^2}{4\pi h' r_a^2 r_i^2}\cdot\frac{\theta}{\omega_a}=K\left(\frac{\theta}{\omega_a}\right) \cdots\cdots (2)$$

を用ひ，充づ異常粘性を示さない液體を用ひて裝置の常數 K を定める．h' は內部圓筒深さに端子補正をせるものなる事明かである．K の係數の決定には，攝氏 25 度の蒸溜水，攝氏 24.9 度及び 39.3 度の重油を用ひた．第 20 圖〔a〕，〔b〕，〔c〕は此等の試料による $\theta\sim\omega_a$ 曲線である．



第 20 圖〔a〕

第 20 圖〔a〕……蒸溜水 (溫度 25°C)　線條 No. 2

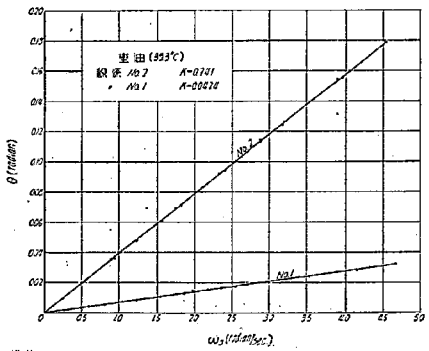
第 20 圖〔b〕……重　油 (溫度 39.3°C) 線條 No. 2

第 20 圖〔b〕……重　油 (〃　〃) 〃 No. 1

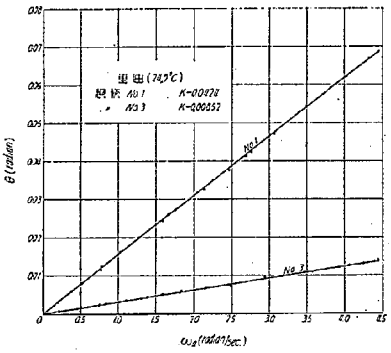
第 20 圖〔c〕……重　油 (溫度 24.9°C) 線條 No. 1

第 20 圖〔c〕……重　油 (〃　〃) 〃 No. 3

第 20 圖を見るに $\theta\sim\omega_a$ 曲線は全部實驗の誤差範圍內で完全な直線をなしてゐる．卽ち重油は異常粘性を示さない．攝氏 25 度の蒸溜水の粘性係數を標準とし，$\eta=K\cdot\dfrac{\theta}{\omega_a}$ 式より順次各線條の係數 K を求む，卽ち下表の如き値を得た．



第 20 圖〔b〕



第 20 圖〔c〕

斯の如き線條を使用し下記の順序により實驗す.

(i) 各試料に就き濃度一定とし,溫度を 5° 度づゝ變じ平衡位置に於ける, $\theta \sim \omega_a$ 曲線を求む.

(ii) 各試料を 0.25% のオレイン酸曹達溶液にて稀釋し (i) と全く同樣にして, $\theta \sim \omega_a$ 曲線を求む.

線條番號	K (測定器係數)
No. 1	2.36×10
No. 2	4.15
No. 3	1.174×10^2

(iii) (i), (ii) の各組の實驗より粘性係數 $\frac{d\theta}{d\omega_a} = \eta_w$ を圖上より求め, $\eta_w \sim \omega_a$ 曲線を得. 且つ速度傾度に無關係領域に於ける粘性係數を求め η_∞ で表はす, 但し ∞ は速度傾度無限大に對する事を意味す.

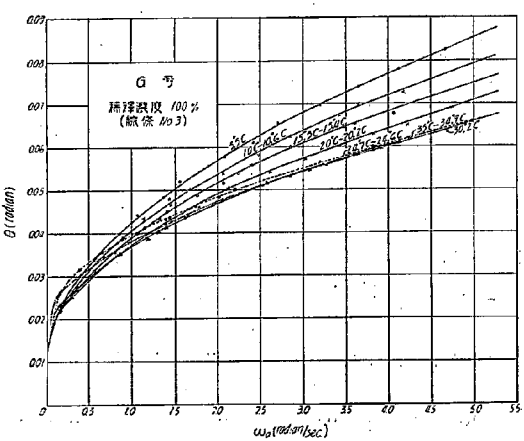
(iv) 以上の如くして得た η_∞ の値と溫度との關係竝に瀝青質含有量との關係を求む.

大畧以上の如き (i), (ii), (iii), (iv) 各項に就き各試料による實驗結果を述べる. 第 (iv) 項は續報に詳細に述べる.

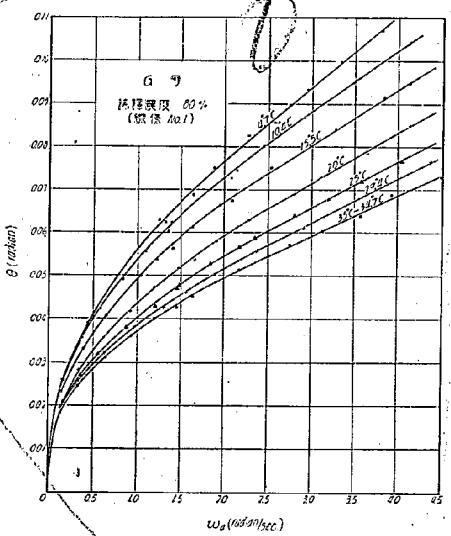
〔2〕 實驗結果に就て

G 號に就て　各實驗に對して記錄あれど, 多數の實驗を行へる爲め全部此處に掲ぐるは繁雜の虞れあるを以て最後に取纏め置く (別表第 1 參照, 本表は實驗試料中原液とは其の稀釋せざるものに對する値である,

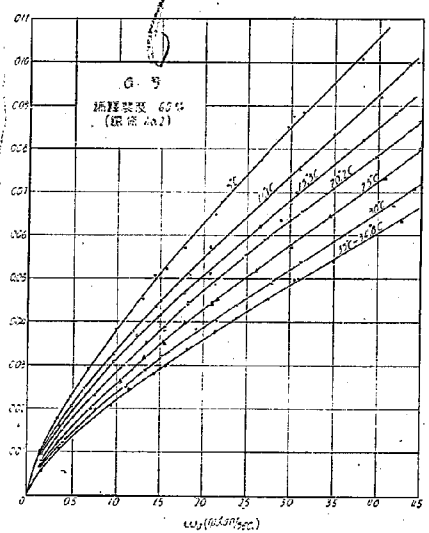
第 21 圖〔a〕, 〔b〕, 〔c〕, 〔d〕, は G 號に就き市販のもの其の儘を稀釋濃度 100% とし, 以下稀釋せる割合に應じ稀釋濃度 80%, 60%, 40% と表はし上記の方法にて求め



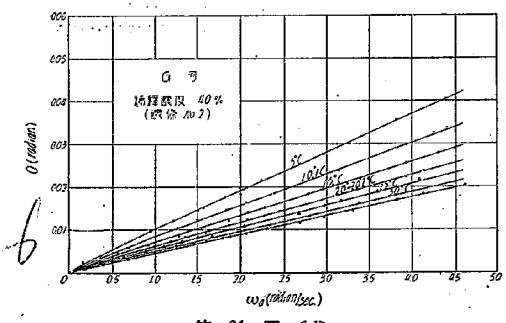
第 21 圖〔a〕



第 21 圖 〔b〕



第 21 圖 〔c〕



第 21 圖 〔d〕

た各試料に對する $\theta \sim \omega_a$ 曲線である．回轉速度 ω_a の小なる部分に於ては第 II 章に評論した標準形式の構造粘性的異常性が表はれてをる．稀釋濃度 100% のものに於ては第 6 圖〔b〕② の如く θ 軸上の一點より $\theta \sim \omega_a$ 曲線が出てゐる様である．80%，60% に於ては原點より全く第 6 圖，第 7 圖〔c〕の如く變つてゐる．40%に於ては實驗の精度範圍以内では $\theta \sim \omega_a$ の直線的關係が保れてゐる．

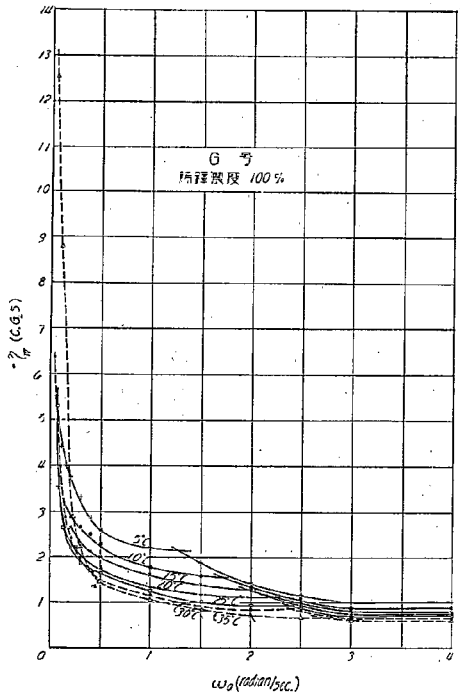
唯 G 號に於ては一般に粘性異常性の外に稀釋濃度 100% のものに於ては別個の異常性が更に表はれてゐる．卽ち第 21 圖〔a〕を見れば ω_a の小なる領域に於て θ は溫度の上昇に伴ひ增大する傾向がある．斯くの如く或る速度傾度領域に於ては乳劑の粘性が溫度と共に增大する事は，一般溶液及び "ゾル" に現れない現象である．續報粘性と溫度との關係の章に述べるが氣體に於ては粘生係數は溫度上昇に伴ひ增大するものである．"ゾル" に於ても內部構造に急變ある場合，晶質溶液の場合結晶形の急變する事により斯る異狀性を呈する事は二三觀測報告されてゐる．Wo. Ostwald,[31] H. Malss[32] が有機物の "アルコホル" 溶液及び硫黄 "ゾル" (s) にて研究し，硫黄の場合可溶性，非溶性 (s_λ, s_u) 二樣の構造間の轉換が斯る異常性の原因であると述べてゐる．其の他蜜蠟の研究で ω_a の

小なる時本實驗に得たと同樣の曲線を得てをり，純粹な構造粘性の外に彈性的傾向の發生に起因すると述べてゐる．本乳劑に於ては他の實驗を試みなかつたから之が原因に對する推測は避けるが唯異常粘性として二種のものを觀測した事は注目に値する．80%，60% 稀釋濃度のものは第一種の異常粘性のみが著しく現はれてゐる．第 22 圖〔a〕，〔b〕，〔c〕，〔d〕，より曲線上各點に於て，$\frac{d\theta}{d\omega_a}$ を求め，抵抗係數を求め正規粘性溶液としての領域を吟味した．

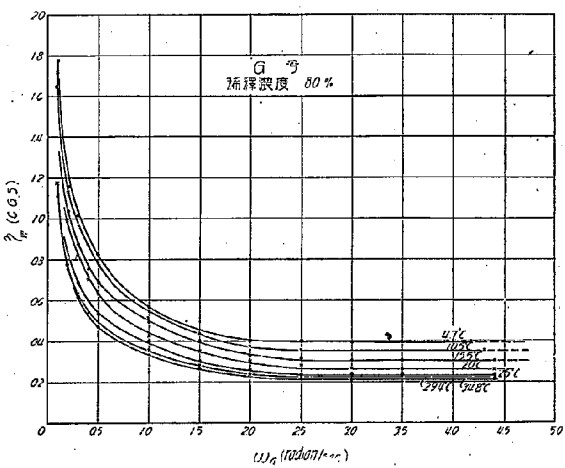
第 22 圖〔a〕，〔b〕，〔c〕は稀釋濃度 100%，80%，60% のもの $\eta_W-\omega_a$ 曲線である．曲線傾向が第 22 圖のものに應じて定まるものである．第 23 圖〔b〕〔c〕は全く標準形（第 6 圖〔c〕第 7 圖）と同一であるが第 22 圖〔a〕には一般的の構造粘性以外の異常性が著しく現はれてゐる．

$\theta\sim\omega_a$ 曲線の場合に述べた速度傾度小なる部分に於ける，溫度に對する異常性は特に 35°C，30°C 於て著しく異樣に溫度高きもの θ が增大してゐる事が分る．更に $\eta_W\sim\omega_a$ 曲線の不連續點が實驗溫度全般に涉り起つてゐる．且つ不連續點は溫度の增大に伴ひ ω_a の大なる値に對し移動し，不連續率即ち $\frac{d\eta_W}{d\omega_a}$ の變動率も少い．本乳劑の工學的試驗を對照するに第 I 表より明かなる如く G 號の瀝青質は針度小，軟化點高きものであり瀝青含有量特に大である（57%）．

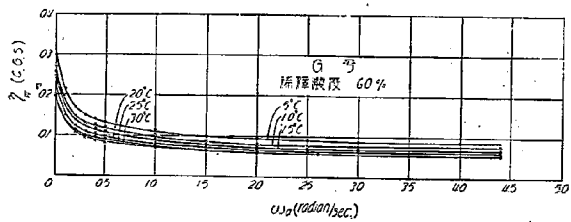
G 號に表はれた通常構造粘性以外の異常性は G 號の瀝青含有量大なる事と，粒子の特に小なる事（確率直徑 0.8 μ）に起



第 22 圖〔a〕



第 22 圖〔b〕



第 22 圖 〔c〕

因するものと推測される．

下記に速度傾度に無關係な粘性係数 η_∞ の値及び，構造粘性範圍を表示す．(第 5 表，第 6 表) η_∞ と溫度及び澱青含有量との關係は後に述べる．

第 5 表

試料 G 號　η_∞．(φ；澱青含有量を示す)

φ \ t	5°	15°	25°	35°
0.55	0.915	0.680	0.575	0.525
0.50	0.615	0.462	0.385	0.335
0.45	0.355	0.275	0.225	0.200
0.40	0.185	0.145	0.125	0.110
0.35	0.100	0.080	0.065	0.055
0.30	0.060	0.045	0.035	0.030
0.25	0.044	0.030	0.021	0.018
0.225	0.038	0.027	0.019	0.015

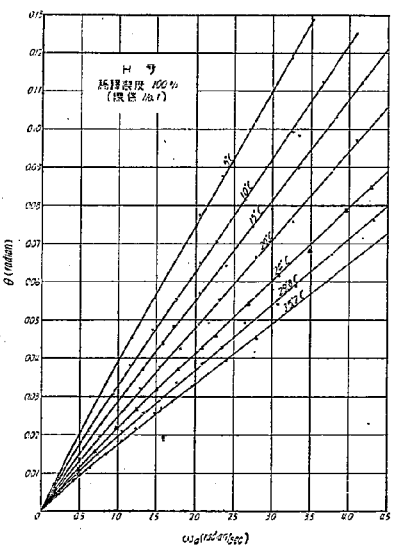
第 6 表

構造粘性範圍

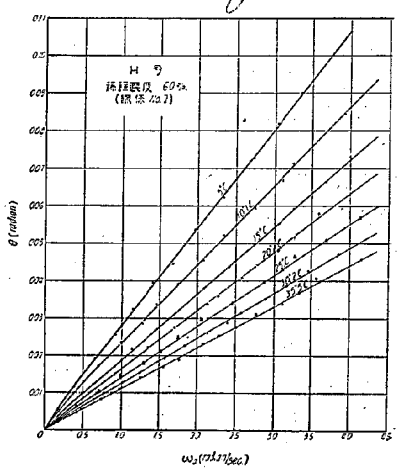
濃　度	100%	80%	60%	40%
ω_a (構造粘性範圍)	<3	<2.6	<1.5	構造粘性なし
$\eta_W(\omega_a \to 0)$	∞	∞	有限値	有限値

但し稀釋濃度 100% とは市販の稀釋せざるもので，速度傾度は $G = 41.14\frac{1}{\rho^2}\cdot\omega_a$ (C.G.S. 單位) で表さる．

H 號に就て　G 號の場合と全く同樣で實驗結果は別表第 2 に取纏めて示す) に示す．第 23 圖〔a〕，〔b〕，〔c〕，〔d〕は $\theta \sim \omega_a$



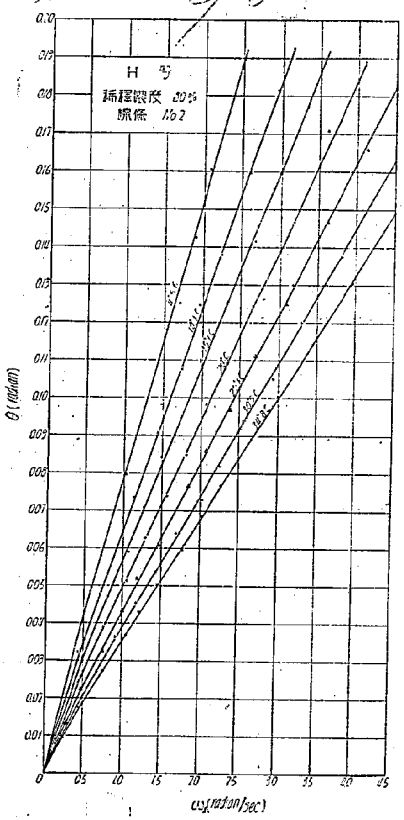
第 23 圖 〔a〕



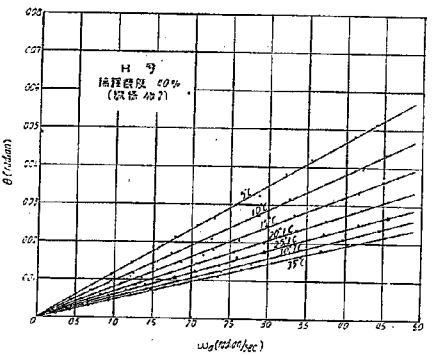
第 23 圖 〔c〕

曲線を示す．H 號は ω_a の小なる値に對しても異常性少く標準形（第 7 圖）と全く同一の傾向を示してゐる．60%，40% 稀釋は略ほ完全な直線を表はしてゐる．H 號には特異な傾向がない．

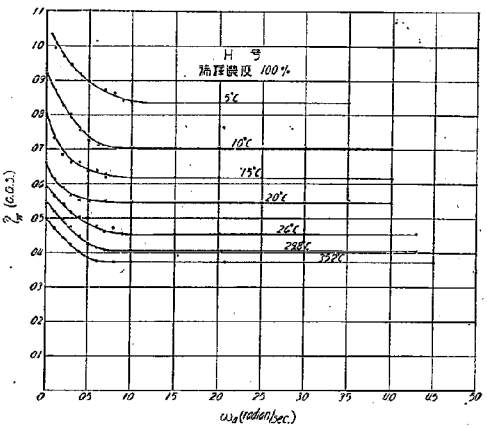
第 24 圖〔a〕,〔b〕,〔c〕は第 23 圖〔a〕,〔b〕,〔c〕より求めた η_W～ω_a 曲線である．H 號に於ては $\omega_a=0$ に對する η_W は無限大でなく或る有限値を持つ樣である．第 7 表第 8 表は各實驗に於ける η_∞ 値及び構造粘性範圍を示す．



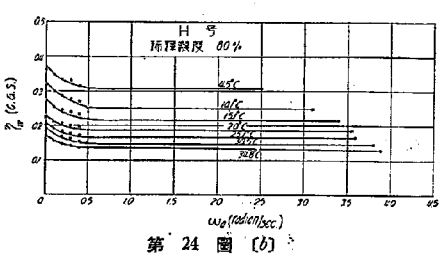
第 23 圖〔b〕



第 23 圖〔d〕

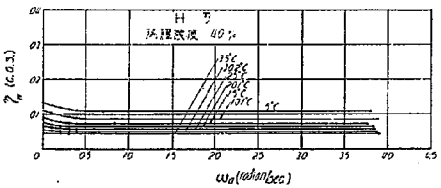


第 24 圖〔a〕

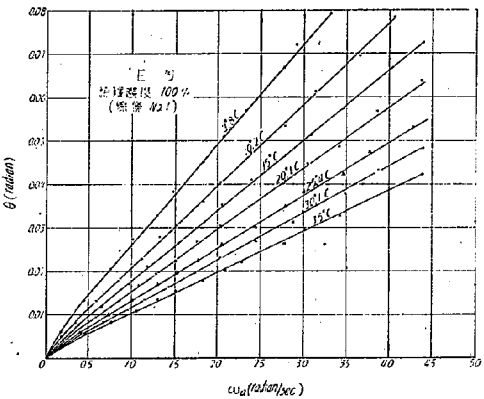


第 24 圖〔b〕

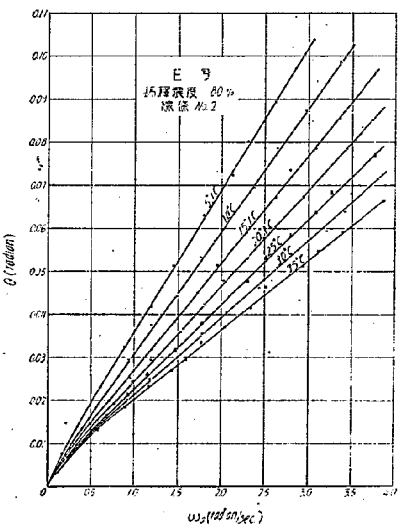
E 號に就て　G 號 H 號と全く同樣に實驗す．結果は別表第3に示す．第25圖〔a〕,〔b〕,〔c〕,〔d〕は別表第 3 より求めた θ～ω_a 曲線である．H 號と同じ傾向の曲



第 24 圖 〔c〕



第 25 圖 〔a〕



第 25 圖 〔b〕

第 7 表

試料〔H〕號 η; φ ;遲滯含有量を示す.

φ \ t	5°	15°	25°	35°
0.50	0.670	0.470	0.350	0.285
0.45	0.400	0.275	0.215	0.170
0.40	0.230	0.165	0.110	0.100
0.35	0.145	0.100	0.075	0.060
0.30	0.090	0.060	0.045	0.038
0.25	0.062	0.042	0.029	0.025
0.216	0.048	0.033	0.023	0.019

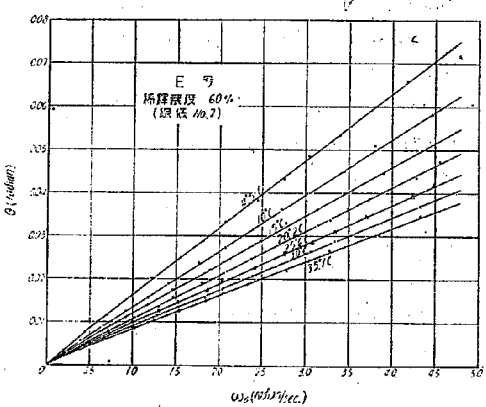
第 8 表

構造粘性範圍 (H 號)

濃 度	100%	80%	60%	40%
ω_a (構造粘性範圍	<0.9	<0.6	構造粘性略なし	全くなし
$\eta_w(\omega_a \to 0)$	有限値	有限値	有限値	有限値

但し濃度 100% とは市販の稀釋せざるもので, 速度傾度は $G=41.14\frac{1}{\mu^2}\omega_a$(C.G.S. 單位) で表さる.

なすもので標準形 (第 7 圖) と同じ. 60%, 40% 稀釋濃度のものは共に完全の直線に近い. 第25 圖より第26 圖の如き η_w～ω_a 曲線を得る事前例と同し.



第 25 圖 〔c〕

第 9 表

試料〔E〕η_∞, φ；瀝青含有量を示す.

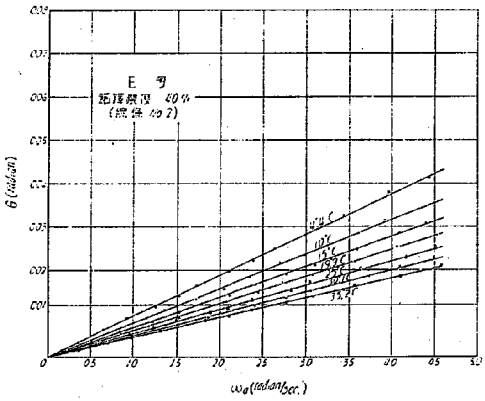
φ \ l	5°	15°	25°	35°
0.50	0.485	0.3425	0.260	0.200
0.45	0.225	0.175	0.135	0.105
0.40	0.130	0.100	0.080	0.063
0.35	0.087	0.065	0.053	0.043
0.30	0.065	0.045	0.035	0.030
0.25	0.047	0.035	0.027	0.023
0.20	0.038	0.028	0.023	0.018

第 10 表

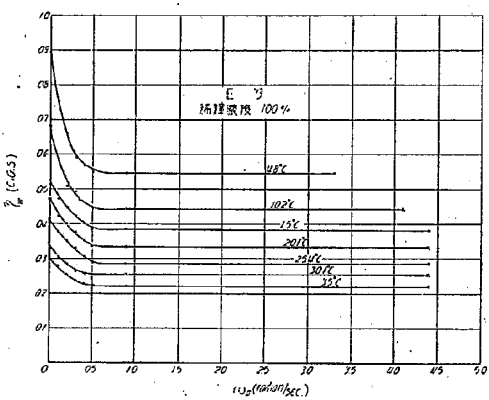
構造粘性範圍

濃度	100%	80%	60%	40%
ω_a(構造粘性範圍)	<0.7	<0.6	構造粘性なし	構造粘性なし
$\eta_w(\omega_a\to 0)$	有限	有限	有限	有限

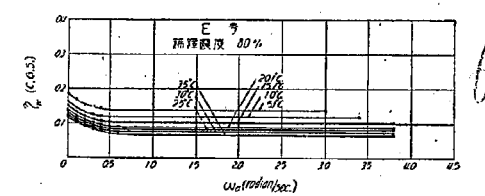
但し稀釋濃度 100% とは市販の稀釋せざるもので，速度傾度は $G=41.14\frac{1}{F^2}\omega_a$ (C.G.S. 單位) で表さる.



第 25 圖 〔d〕



第 26 圖 〔a〕

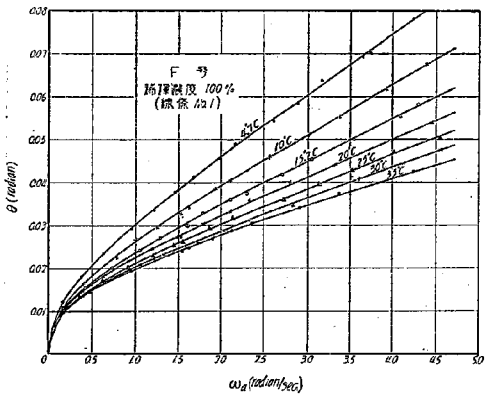


第 26 圖 〔b〕

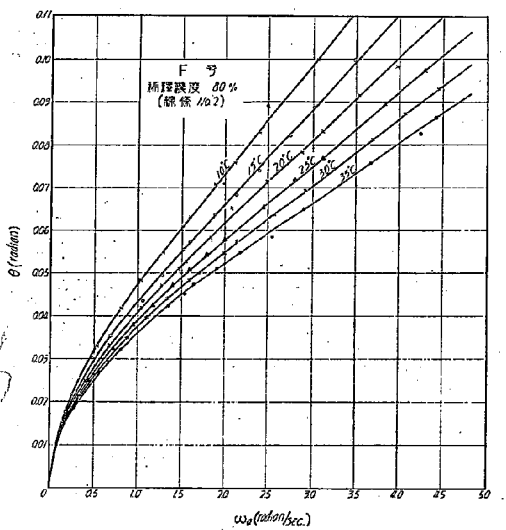
圖〔a〕, 〔b〕は稀釋濃度 100%, 80% に對する $\eta_w\sim\omega_a$ 曲線である. 共に η_w の有限値より出てゐる. 第 9 表第 10 表は實驗に於ける η_∞ の値及び構造粘性範圍を示す.

F 號に就て 最も粒子の大である E 號は G, H 號と稍々同じ傾向の $\theta\sim\omega_a$ 曲線を與へたが F號は粒子の直徑大きく確率直徑約 2.3 μ のものであるが $\theta\sim\omega_a$ 曲線には可塑性が非常に現はれてゐる. 實驗結果は別表第 4 の如きもので同表より第 27 圖〔a〕, 〔b〕, 〔c〕, 〔d〕の如き曲線を得. G, H, E 號と異り, 40% 稀釋濃度のものにても構造粘性の影響が明かに現はれてをる.

$\theta\sim\omega_a$ 曲線の傾向を見るに 100%, 80% 稀釋濃度のものは標準形 (第 6 圖〔c〕) の如き傾向を示してゐるが, 60%, 40% 稀釋濃度のものは標準形 (第 7 圖) の如き傾向を示す.



第 27 圖 〔a〕



第 27 圖 〔b〕

第 11 表

試料〔F〕η_∞；φ；澱青含有量を示す.

φ \ t	5°	15°	25°	35°
0.50	0.320	0.240	0.190	0.160
0.45	0.2025	0.145	0.115	0.097
0.40	0.127	0.088	0.070	0.058
0.35	0.085	0.056	0.047	0.040
0.30	0.060	0.043	0.035	0.030
0.25	0.045	0.032	0.025	0.020
0.20	0.035	0.025	0.018	0.015

第 12 表

構造粘性範圍

濃度	100%	80%	60%	40%
ω_a	<1.7	<1.3	<0.8	<0.6
$\eta_W(\omega_a \to 0)$	∞	∞	有限値	有限値

但し濃度 100% とは市販の稀釋せざるもので，速度傾度は $G=41.14\frac{1}{\gamma^2}\omega_a$ (C.G.S. 單位) で表さる.

100% 稀釋濃度のものは G 號と同じ $\theta \sim \omega_a$ の傾向をとるが溫度に對する變動率は實驗の溫度範圍では全く異常性なく正規のものである.

第 28 圖 〔a〕, 〔b〕, 〔c〕, 〔d〕 は第 27 圖より得た $\eta_W \sim \omega_a$ 曲線で $\omega_a=0$ に相對して，100%, 80% 稀釋濃度のものは η_W は無限大であるが 60%, 40% 稀釋濃度のものに對しては有限に出てゐる.

第 11 表第 12 表は F 號各實驗に於ける速度傾度に無關係な η_∞ 値と構造粘性範圍とを示す.

以上の如くして試料 G, H, E, F 號の 4 種に就き回轉圓筒法による實驗結果を述べた.

一般乳濁液の如く構造粘性の現象が明瞭に現れ，標準形の内主として第 6 圖 〔c〕 と第 7 圖の如き傾向をとる. 第 6 圖 〔a〕 第 13 圖の如きものは上述の實驗に於て澱青乳劑には無かつた. 構造粘性の範圍は第 6, 8, 10 及び 12 表に明かなる如く粒子の大小により影響を蒙る樣である. 一方澱青質含有量同一 % のものに對する η_∞ の値も粒子分散により著しく變る. 全部取纏め之を第 13 表に示す.

第 13 表 (25° 度)

G 號：確率直徑 0.80 μ

稀釋濃度 %	瀝青含有量%	η_∞	構造粘性範圍, ω_a	$\eta_W(\omega_a=0)$
100	57	0.65	<3	∞
80	45.6	0.24	<2.6	∞
60	34.2	0.06	<1.5	有限
40	22.8	0.025	無し	有限

H 號：確率直徑 1.2 μ

稀釋濃度 %	瀝青含有量%	η_∞	構造粘性範圍, ω_a	$\eta_W(\omega_a=0)$
100	53	0.47	<0.9	有限
80	42.4	0.165	<0.6	有限
60	31.8	0.055	無し	有限
40	21.2	0.025	無し	有限

E 號：確率直徑 4 μ

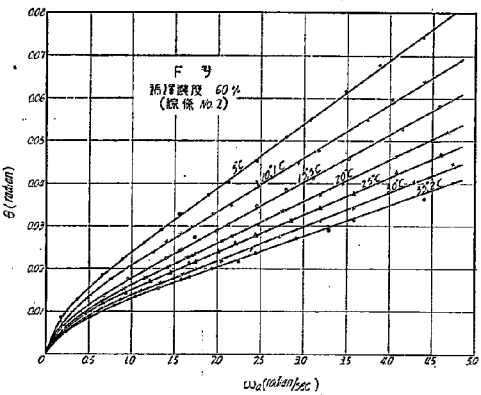
稀釋濃度 %	瀝青含有量%	η_∞	構造粘性範圍, ω_a	$\eta_W(\omega_a=0)$
100	50.8	0.290	<0.7	有限
80	40.6	0.0825	<0.6	有限
60	30.5	0.0380	無し	有限
40	20.3	0.0225	無し	有限

F 號：確率直徑 2.3 μ

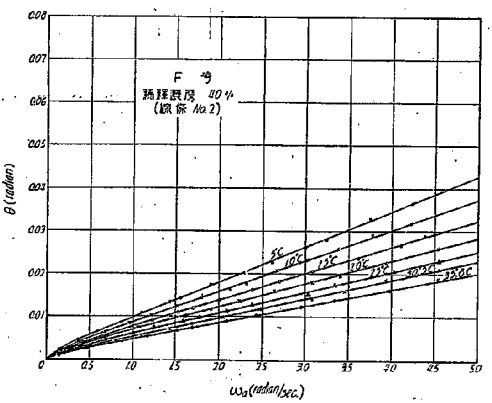
稀釋濃度 %	瀝青含有量%	η_∞	構造粘性範圍, ω_a	$\eta_W(\omega_a=0)$
100	50.3	0.195	<1.7	∞
80	40.2	0.070	<1.3	∞
60	30.2	0.035	<0.8	有限
40	20.1	0.025	<0.6	有限

但し，濃度 100% は市販の稀釋せざるものを表し，ω_a は回轉速度 ラヂアン/秒 を示し，此の場合速度傾度は $G=41.14\frac{1}{r^2}\omega_a$ (C.G.S. 單位) で示さる r=半徑 (cm.)，η_∞ は 25°C に對する値を表はす．

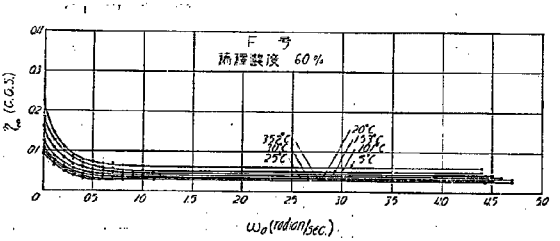
第 13 表により瀝青乳劑の回轉圓筒法に於ける粘性係數が明



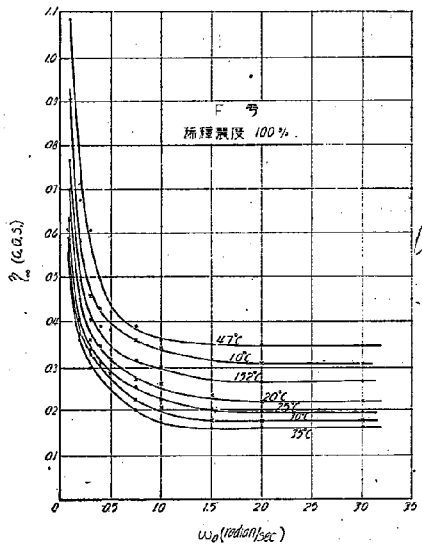
第 27 圖 〔c〕



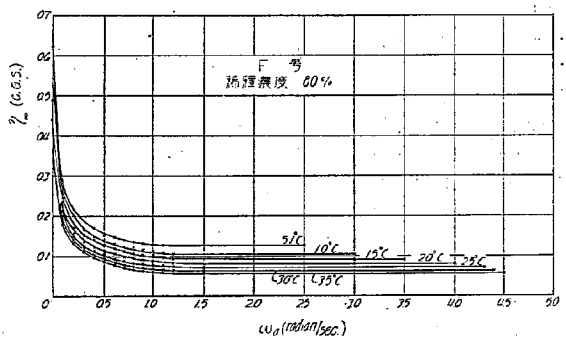
第 27 圖 〔d〕



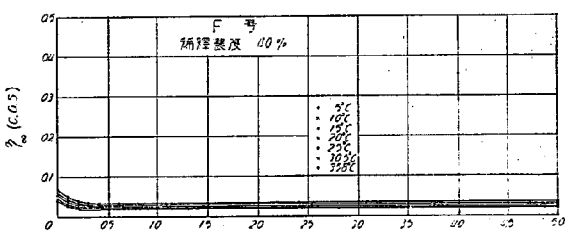
第 28 圖 〔c〕



第 28 圖 (a)



第 28 圖 (b)



第 28 圖 (d)

かとなつた．此處に云ふ粒子直徑は顯微鏡寫眞により測定したものである．

力學系として流動する場合の粒子の有效大さは自ら別で膨潤比率等を合せ考ふべきである．理論の部に於て述べた毛細管法等に於ける異常性の實驗値及び兩者實驗値の比較は續報に述べる．

VIII　結　　論

第1章より VII 章各章に詳細に論じた様に鋪裝用瀝青乳劑の如き程度の分散質の確率直徑；0.8～0.4μ の乳濁液の粘性係數に對し種々なる方面，主として力學的性質に就き其の特性を論じ，一方4種の確率直徑；0.8μ；1.2 μ；2.3μ；4.0μ の鋪裝用瀝青乳劑に就き種々條件を變じ實驗し理論の與ふ結果と比較對照した．

緒言に述べた様に續報により完了するものであるが，以下本論文にて研究せしもの內より主要なる結果を引用略記すれば下記の如きものとなる．

(1)　先づ速度傾度に對する粘性抵抗性の影響を論じ構造粘性 (Struktur-Viskosität) の材料本質上の意義竝びに實驗上の意義を明かにした．

(2)　2種の粘性測定法卽ち回轉圓筒法及び毛細管法に於て現れる構造粘性の特異性に就き詳細に論じ標準形式として計9種のものを得た．

回轉圓筒法に於て5種の構造粘性形式（第6圖〔a〕，〔b〕，〔c〕，第7圖，第13圖參照）毛細管法に於て4種の構造粘性形式，（第11圖，第12圖〔a〕，〔b〕，第14圖〔b〕參照）を理論的に得た．

(3)　實驗結果を見るに鋪裝用瀝青乳劑に於ては上述9種の標準形より回轉圓筒法に於て2種の異常粘性を得た，卽ち $\omega_a=0$ に於て有限値の粘性 (η) を示す第7圖，及び $\omega_a=0$ に於て無限大に近く粘性 (η) を示す第6圖〔c〕の如き傾向をとる場合を得た．

(4)　工學的粘性測定値である Engler 比粘度と本研究實驗部で試みた絶對法との相互關係を考察す（詳細は續報參照）

(5)　本理論式が一般乳濁液に如何に適用されるかを吟味する爲め多くの研究家による實驗値と理論式とを比較した．

(6)　一般乳濁液の異常粘性係數と瀝青乳劑のそれとを比較對照した．

(7)　瀝青乳劑の濾過液に就き粘性係數を Ostwald 管にて測定し，特に溫度に對する影響を吟味し，一般式として……$\eta_0=Be^{A/T}$……の適用される事を明かにした．但し T；絶對溫度，A，B；常數，を表す．

以上の如く各項に對し詳細に考察し異常粘性液體としての瀝青乳劑の性質を理論的實驗的に研究し，各種主要なる特性の一部を明かにする事が出來た．續報により力學的性質の全般的結論竝に溫度に對する影響を詳論する．

最後に本研究に對し常に御鞭撻と有益なる御指導とを賜りたる所長物部長穗博士竝に所員諸彦に對し著者は深く感謝の意を表すものである．特に實驗及び其の整理に多大の勞を煩した土屋直君に深く謝意を呈する次第である．

引　用　文　獻

1. 島田八郎 / 關島彌六　内務省土木試驗所報告第26號，1934．道路鋪裝用瀝青乳劑の性狀に關する基本的研究（其の1）
2. Wo. Ostwald　Kolloid. Zst. 47, 176, 1929.　Ueber d. rechnerische Darstellung d. Struktur-Gebietes d. Viskostät.
3. E. C. Bingham　On Plasticity and Fluidity (1929).
4. R. M. Mises　Physikal. Zst. XII, 813, 1911.　Ueber d. Englerschen Flüssigkeitsmesser.

5.	J. C. Maxwell	Phil. Magazine (4) 35, 133, 1868. Die Viskosität d. Flüssigkeiten (E. Hatschek).
6.	E. Buckingham	Proc. of A.S.T.M. vol. 21, 1154, 1921. On plastic Flow thro' Capillary Tubes.
7.	E. C. Bingham	前揭 (3)
8.	A. Svegvari	Kolloid. Zst. 108, 175, 1934. Zur Theorie d. Elastizität der kolloiden Lösungen.
9.	M. Reiner u. R. Riwlin	Kolloid. Zst. 43, 1, 1927. Die Theorie d. Strömung einer elastischen Flüssigkeit in Couette-Apparat.
	,,	Kolloid. Zst. 39, 81, 1926. Ueber d. Strömung einer elastischen Flüssigkeit durch eine Kapillare.
	,,	Kolloid. Zst. 43, 73, 1927. Zur Hydrodynamik v. Systemen veränderlicher Viskosität.
	,,	Kolloid Zst. 44, 9, 1928. Zur Hydrodynamik v. Systemen veränderlicher Viskosität, II: Die Strömung in der Kapillare.
10.	R. Auerbach	Kolloid. Zst. 36, 252, 1925. Zur Methodik der Viskosimetrie bei variabler Fliessgeschwindigkeit.
11.	Wo. Ostwald	Kolloid. Zst. 43, 190, 1927. Zur Theorie der Viskosimetrie kolloider Systeme.
12.	A. Einstein	Ann. d. Physik 19, 1905, 34, 1911. Eine neue Bestimmung der Molekül-Dimensionen.
13.	E. Hatschek,	Kolloid. Zst. 7, 301, 1910. Die Viskosität der Dispersoide, I: Suspensoide.
	,,	Kolloid. Zst. 8, 35, 1911. Die Viskosität der Dispersoide, II: Emulsionen und Emulsoide.
14.	島川八郎	內務省土木試驗所報告第 24 號, 1932. 乳劑の粘度に就いて.
15.	W. R. Hess	Kolloid Zst. 27, 1, 1920. Beitrag zur Theorie der Viskosität hetereogener Systeme.
16.	R. Reiner	前揭 (9)
17.	Henry Green	Proc. of A.S.T.M. vol. 20 (2), 451, 1920. Further Development of the Plastometer and its practical Application to Research and routine Problems.
18.	E. C. Bingham	前揭 (3). 19. A. Svegvari 前揭 (8)
20.	W. H. Herschell R. Bulkley	Proc. of A.S.T.M. vol. 26 (2) 1926, 621. Measurement of consistency as applied to rubber benzene solutions.
21.	K. Nishikawa J. W. Lewis	Kolloid Zst. 38, 328, 1926. Zur Kolloidchemie d. Tone und Kaoline. Phil. Mag. p. 429, 1927. A note on certain experiments on the supposed variation of the coefft. of viscosity with the rate of shear.
22.	G. W. Blair	Kolloid. Zst. 47, 76, 1929. Ueber die Geschwindigkeitsfunktion der Viskosität disperser Systeme.
23.	Wo. Ostwald	前揭 (2), (11) 24. R. Auerbach 前揭 (10)
25.	E. Hatschek	Kolloid. Zst. 41, 192, 1927. Zur Kolloidchemie der viskosen Lösung I: Die Geschwindigkeitsfunktion der Viskosität.
26.	O. Sibree	Trans. of Faraday Society, 26, 26, 1930. 27, 161, 1931. The Viscosity of Emulsion Part I, Part II.
27.	Wo. Ostwald M. Reiner	前揭 (2), (11). 前揭 (9)
28.	R. Eisenschnitz	Kolloid. Zst. 64, 184, 1934. Ueber d. Viskosimetrie von Kolloiden, insbesondere d. Lösungen v. Zelluloseestern.
29.	島川八郎	前揭 (1)
30.	E. Humphy & E. Hatschek	Proc. Phys. Soc. London, 28, 1916. The viscosity of suspensions of rigid particles at different rate of shear.
31.	Wo. Ostwald u. H. Malss	Kolloid. Zst., 63, 192, 1933. Ueber Viskositätsanomalien sich entmischender Systeme II: Ueber d. Strukturviskosität Meso-morpher Schmelzen.
32.	Wo. Ostwald u. H. Malss	Kolloid Zst. 63, 205, 1933. Ueber Viskositätsanomalien sich entmischender Systeme III: Strukturviskosität und Fliesselastizität von Schwefelschmelzen u. einigen anderen dispersen Systemen.
	,,	Kolloid. Zst. 63, 61, 1933. Ueber Viskositätsanomalien sich entmischender Systeme I: Ueber Strukturviskosität kritischer Flüssigkeitsgemische.

別表 第1 (G 號), Dはスケール～ミラー距離を示す.

稀釋濃度 100%, 室温 16.3°C, 試料温度 5.5°C, 線條 No. 3				稀釋濃度 100%, 室温 16°C, 試料温度 10°～10.6°C. 線條 No. 3				稀釋濃度 100%, 室温 16°C 試料温度 15.5～15.4°C, 線條 No. 3				稀釋濃度 100%, 室温 17.2°C, 試料温度 20～20.2°C, 線條 No. 3			
振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)	振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)	振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)	振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)
D=1000				"				"				"			
45.7	0.0228	1/33.4	0.163	44.3	0.0221	1/42.8	0.146	44.0	0.0220	1/39.3	0.157	43.0	0.0215	1/45.4	0.138
57.2	0.0286	1/19.4	0.324	55.3	0.0276	1/18.0	0.349	53.7	0.0268	1/18.4	0.341	50.4	0.0252	1/20.8	0.302
69.3	0.0346	2/21.0	0.598	67.3	0.0335	2/21.0	0.598	62.1	0.0310	1/11.4	0.550	59.3	0.0296	1/12.0	0.523
99.8	0.0399	1/14.8	0.849	78.2	0.0391	2/14.0	0.897	71.2	0.0356	1/7.8	0.805	69.4	0.0347	2/15.2	0.826
83.4	0.0442	1/11.8	1.065	86.6	0.0433	2/11.0	1.142	80.2	0.0401	2/11.8	1.065	79.3	0.0396	2/10.8	1.163
96.8	0.0484	5/23.0	1.366	93.1	0.0465	5/21.8	1.440	87.0	0.0435	2/9.6	1.308	86.2	0.0431	5/21.6	1.454
95.8	0.0479	5/22.0	1.423	93.0	0.0465	5/22.0	1.427	90.0	0.0450	2/9.0	1.396	83.3	0.0416	5/23.6	1.331
103.8	0.0519	1/20.2	1.555	100.3	0.0501	5/18.8	1.670	97.8	0.0489	5/17.8	1.764	91.6	0.0458	5/18.6	1.688
111.3	0.0556	1/16.6	1.892	107.8	0.0539	5/15.2	2.066	103.1	0.0515	5/15.2	2.065	92.2	0.0461	5/17.6	1.785
115.4	0.0577	1/15.2	2.067	116.0	0.0580	5/12.6	2.492	111.7	0.0558	5/13.0	2.414	101.6	0.0508	5/14.8	2.122
126.2	0.0631	1/12.4	2.533	124.8	0.0624	5/11.0	2.855	119.9	0.0599	5/11.0	2.854	108.3	0.0541	5/12.0	2.617
131.2	0.0656	1/11.6	2.709	134.7	0.0673	5/9.2	3.414	129.2	0.0646	5/9.0	3.490	114.0	0.0570	5/10.4	3.020
139.3	0.0696	1/9.8	3.210	139.7	0.0698	5/8.6	3.652	130.2	0.0651	5/8.7	3.610	125.8	0.0629	5/8.2	3.830
148.2	0.0741	1/8.6	3.652	145.0	0.0725	5/7.5	4.186	135.2	0.0676	5/7.7	4.076	130.0	0.0650	5/7.4	4.244
156.1	0.0780	1/7.6	4.132	—	—	—	—	—	—	—	—	138.7	0.0693	5/6.6	4.757

稀釋濃度 100%, 室温 15.4°C, 試料温度 24.7°～24.6°C, 線條 No.3				稀釋濃度 100%, 室温 15.1°C, 試料温度 30.1°～30.3°C, 線條 No.3				稀釋濃度 100%, 室温 17.8°C, 試料温度 34°9°C, 線條 No. 3				稀釋濃度 80%, 室温 18.1°C, 試料温度 47°C, 線條 No. 1			
振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)	振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)	振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)	振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)
"				"				"				"			
46.8	0.0234	1/42.0	0.149	52.6	0.0263	1/39.0	0.161	52.4	0.0262	1/41.4	0.151	52.5	0.0262	1/40.2	0.156
54.9	0.0274	1/18.0	0.349	61.1	0.0305	1/15.6	0.402	63.2	0.0316	1/16.2	0.388	78.9	0.0394	1/14.2	0.442
61.8	0.0309	1/11.0	0.571	69.0	0.0345	2/18.6	0.676	71.2	0.0356	1/9.6	0.654	100.2	0.0501	2/16.4	0.765
70.3	0.0351	2/14.2	0.860	75.8	0.0379	2/13.0	0.965	77.0	0.0385	2/14.2	0.885	114.0	0.0570	2/12.2	1.029
77.1	0.0385	2/10.6	1.185	80.0	0.0400	5/26.0	1.207	82.6	0.0413	2/11.0	1.142	126.5	0.0632	2/10.0	1.256
82.3	0.0411	5/22.6	1.390	84.2	0.0421	5/22.6	1.338	86.5	0.0432	5/22.6	1.39	125.4	0.0627	5/23.6	1.331
80.7	0.0403	5/24.2	1.297	82.8	0.0414	5/23.6	1.330	86.8	0.0434	5/22.0	1.427	138.0	0.0690	5/19.0	1.653
87.1	0.0435	5/19.4	1.618	88.0	0.0440	5/19.0	1.651	92.6	0.0463	5/18.0	1.745	147.1	0.0735	5/16.6	1.892
92.8	0.0464	5/16.2	1.938	92.8	0.0464	5/16.0	1.962	96.6	0.0483	5/15.6	2.013	150.6	0.0753	5/16.6	1.892
95.0	0.0475	5/15.2	2.066	95.0	0.0475	5/15.0	2.093	100.2	0.0501	5/13.2	2.379	165.6	0.0828	5/13.8	2.276
103.0	0.0515	5/12.2	2.573	101.8	0.0509	5/12.4	2.532	105.4	0.0527	5/11.4	2.754	179.5	0.0897	5/11.4	2.754
109.1	0.0545	5/10.2	3.080	105.3	0.0531	5/11.0	2.853	112.8	0.0564	5/9.8	3.205	183.5	0.0927	5/10.6	2.964
118.1	0.0590	5/8.2	3.830	111.2	0.0556	5/9.6	3.270	120.3	0.0601	5/8.2	3.3331	198.5	0.0997	5/9.4	3.341
121.7	0.0608	5/7.6	4.132	119.4	0.0597	5/8.0	3.925	120.2	0.0601	5/7.8	4.0056	213.5	0.1067	5/8.2	3.832
128.0	0.0640	5/7.2	4.360	121.8	0.0619	5/7.4	4.250	127.1	0.0635	5/6.9	4.4553	218.2	0.1091	5/7.4	4.244
—	—	—	—	130.0	0.0650	5/6.4	4.900	122.1	0.0660	5/6.3	4.4936	228.5	0.1142	5/7.6	4.133

稀釋濃度 80%, 室温 15.9°C, 試料温度 10.5°～10.4°C, 線條 No. 1				稀釋濃度 80%, 室温 17.0°C, 試料温度 15.5°C, 線條 No. 1				稀釋濃度 80%, 室温 17.2°C, 試料温度 20°C, 線條 No. 1				稀釋濃度 80%, 室温 18.1°C, 試料温度 25.0°～21.9°C, 線條 No.1			
振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)	振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)	振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)	振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)
"				"				"				"			
52.6	0.0263	1/38.0	0.165	46.9	0.0234	1/41.0	0.153	42.9	0.0214	1/40.0	0.157	42.2	0.0211	1/36.4	0.172
72.0	0.0360	1/16.2	0.388	66.9	0.0334	1/16.0	0.392	56.8	0.0284	1/18.6	0.337	54.6	0.0273	1/17.4	0.361
85.7	0.0428	1/10.8	0.582	82.3	0.0411	1/9.6	0.654	72.1	0.0360	1/10.0	0.624	64.3	0.0321	1/11.2	0.560
99.2	0.0496	2/15.0	0.837	107.9	0.0539	2/10.2	1.232	84.3	0.0421	2/13.6	0.924	76.7	0.0383	1/7.1	0.844
112.2	0.0561	2/11.4	1.102	100.8	0.0504	2/12.0	1.046	95.3	0.0476	2/10.4	1.207	86.6	0.0433	2/10.4	1.208
121.7	0.0608	5/23.0	1.365	113.3	0.0566	5/22.2	1.414	104.0	0.0520	5/21.2	1.481	94.8	0.0474	2/8.6	1.461
125.2	0.0625	5/22.4	1.402	115.0	0.0575	5/22.2	1.414	105.8	0.0529	5/20.0	1.571	96.1	0.0480	5/21.0	1.495
145.8	0.0729	4/12.0	2.094	122.9	0.0614	5/19.2	1.636	116.6	0.0583	5/16.4	1.916	106.1	0.0530	5/17.0	1.847
149.2	0.0746	4/14.6	2.151	133.5	0.0667	5/16.0	1.963	122.8	0.0614	5/14.6	2.151	113.9	0.0569	5/14.4	2.181
160.8	0.0804	4/12.8	2.454	135.4	0.0677	5/15.0	2.092	126.3	0.0631	5/13.8	2.275	118.0	0.0590	5/13.4	2.344
173.7	0.0868	4/10.8	2.910	150.6	0.0753	5/12.4	2.534	138.4	0.0692	5/11.2	2.803	128.4	0.0642	5/11.2	2.803
174.3	0.0871	4/10.8	2.910	161.2	0.0806	5/11.0	2.856	146.6	0.0733	5/10.0	3.114	136.2	0.0681	5/9.8	3.205
190.2	0.0951	4/9.0	3.491	168.4	0.0842	5/9.6	3.271	157.1	0.0785	5/8.6	3.653	144.3	0.0721	5/8.8	3.570
203.5	0.1042	4/7.6	4.132	182.3	0.0914	5/8.2	3.831	169.8	0.0849	5/7.6	4.133	153.2	0.0766	5/7.8	4.026
—	—	—	—	189.2	0.0946	5/7.6	4.132	177.1	0.0885	5/6.6	4.760	165.3	0.0826	5/7.1	4.422
—	—	—	—	203.5	0.1017	5/6.6	4.759	177.5	0.0887	5/6.6	4.760		—	—	—

別表 第1 (G 號)

稀釋濃度 80%, 室温 17.9°C, 試料温度 29.4°C, 線條 No. 1

振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)
D=1000			
38.6	0.0193	1/44.0	0.142
51.8	0.0259	1/18.8	0.334
65.1	0.0325	1/10.0	0.628
76.6	0.0383	2/13.0	0.966
85.9	0.0429	2/9.6	1.308
92.8	0.0464	2/8.0	1.571
93.1	0.0465	5/20.0	1.570
101.6	0.0508	5/16.4	1.915
107.4	0.0537	5/14.6	2.151
112.0	0.0560	5/13.2	2.378
123.1	0.0615	5/10.8	2.907
131.1	0.0655	5/10.0	3.141
143.0	0.0715	5/9.0	3.490
158.8	0.0769	5/7.2	4.361
—	—	—	—
—	—	—	—

稀釋濃度 80%, 室温 17.7°C, 試料温度 35°~31.7°C, 線條 No. 1

振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)
"			
36.6	0.0183	1/44.4	0.141
49.9	0.0249	1/19.0	0.330
62.4	0.0312	1/10.4	0.604
72.7	0.0363	2/13.4	0.938
80.6	0.0403	2/10.4	1.208
86.0	0.0430	2/8.6	1.461
90.6	0.0453	2/7.6	1.654
91.5	0.0457	5/19.0	1.652
97.7	0.0488	5/16.4	1.915
103.1	0.0515	5/14.4	2.180
109.9	0.0549	5/12.5	2.512
114.8	0.0574	5/11.4	2.754
121.5	0.0607	5/10.0	3.141
128.2	0.0641	5/8.8	3.569
133.0	0.0690	5/8.0	3.927
145.9	0.0729	5/7.0	4.488

稀釋濃度 60%, 室温 16.8°C, 試料温度 5°C, 線條 No. 2

振れ 0mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)
"			
21.1	0.0105	1/41.6	0.151
35.6	0.0178	1/18.2	0.345
58.6	0.0293	2/18.0	0.698
76.7	0.0383	2/12.4	1.014
91.3	0.0456	5/23.8	1.320
105.0	0.0525	5/19.8	1.586
102.1	0.0510	5/21.6	1.454
114.8	0.0574	5/17.4	1.805
130.3	0.0651	5/14.7	2.137
136.1	0.0680	5/14.2	2.212
155.2	0.0776	5/11.8	2.661
170.7	0.0853	5/10.6	2.963
177.0	0.0885	5/10.0	3.141
—	—	—	—
—	—	—	—

稀釋濃度 60%, 室温 16.9°C, 試料温度 11.1°C, 線條 No. 2

振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)
"			
19.1	0.0095	1/41.0	0.153
35.1	0.0175	1/15.8	0.397
50.0	0.0250	1/9.6	0.654
65.3	0.0326	1/6.4	0.982
76.3	0.0382	2/10.4	1.207
87.4	0.0437	2/8.6	1.461
90.4	0.0452	5/20.5	1.532
102.6	0.0513	5/17.0	1.847
115.7	0.0578	5/15.0	2.094
114.8	0.0574	5/15.0	2.094
132.7	0.0663	5/12.2	2.575
151.0	0.0755	10/20.2	3.110
166.4	0.0832	10/18.0	3.490
184.0	0.0920	10/15.6	4.026
199.4	0.0997	10/14.4	4.361
—	—	—	—

稀釋濃度 60%, 室温 16.9°C, 試料温度 15.3°C, 線條 No. 2

振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)
"			
19.4	0.0097	1/38.2	0.164
32.2	0.0161	1/16.8	0.374
46.8	0.0234	1/9.4	0.668
62.2	0.0311	2/12.8	0.982
74.1	0.0370	2/10.0	1.256
84.0	0.0420	2/8.2	1.532
82.9	0.0414	5/21.0	1.495
94.2	0.0471	5/17.4	1.805
105.2	0.0516	5/15.0	2.053
113.1	0.0565	5/14.0	2.242
124.5	0.0622	10/23.6	2.662
141.2	0.0706	10/20.6	3.050
147.6	0.0738	10/19.0	3.306
164.5	0.0822	10/16.4	3.832
176.5	0.0882	10/15.0	4.188

稀釋濃度 60%, 室温 18.2°C, 試料温度 20.2°C, 線條 No. 2

振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)
"			
16.0	0.008	1/38.4	0.163
30.0	0.015	1/15.6	0.402
46.2	0.0231	1/8.2	0.766
60.3	0.0301	2/11.4	1.102
71.3	0.0356	5/23.0	1.365
78.3	0.0391	5/20.0	1.570
76.7	0.0383	5/20.2	1.555
88.8	0.0444	5/17.2	1.826
98.2	0.0491	5/14.6	2.151
104.7	0.0523	5/11.2	2.804
118.6	0.0593	5/11.6	2.708
131.8	0.0659	10/20.0	3.142
140.0	0.0700	10/18.5	3.393
156.7	0.0783	10/15.8	3.976
173.1	0.0865	10/14.0	4.487

稀釋濃度 60%, 室温 17.6°C, 試料温度 25°C, 線條 No. 2

振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)
"			
13.5	0.0067	1/42.0	0.149
24.9	0.0124	1/17.4	0.261
41.1	0.0205	1/8.6	0.730
53.1	0.0265	2/11.8	1.065
64.1	0.0320	2/9.4	1.336
71.4	0.0357	5/20.2	1.555
70.5	0.0352	5/20.0	1.571
80.0	0.0400	5/17.4	1.805
88.9	0.0444	5/14.8	2.122
91.0	0.0455	5/14.4	2.181
104.1	0.0520	5/12.0	2.617
115.1	0.0575	5/10.4	3.021
129.2	0.0646	10/18.2	3.452
142.7	0.0713	10/15.4	4.081
157.3	0.0789	10/14.0	4.487

稀釋濃度 60%, 室温 17.1°C, 試料温度 30°C, 線條 No. 2

振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)
"			
1.39	0.0069	1/35.4	0.177
2.48	0.0124	1/15.2	0.413
40.1	0.0200	1/8.0	0.785
50.7	0.0253	2/11.1	1.132
58.4	0.0292	2/9.3	1.352
65.0	0.0325	5/20.3	1.547
66.8	0.0334	5/19.3	1.627
76.5	0.0387	5/16.2	1.938
81.5	0.0407	5/14.5	2.165
88.2	0.0441	5/13.1	2.397
98.4	0.0492	5/11.2	2.803
108.5	0.05.2	10/20.1	3.125
120.7	0.0603	10/17.4	3.611
134.2	0.0671	10/15.0	4.189
142.0	0.0710	10/14.2	4.423

稀釋濃度 60%, 室温 17.1°C, 試料温度 34.8°~35°C, 線條 No. 2

振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)
"			
11.3	0.0056	1/38.0	0.165
21.7	0.0108	1/17.0	0.369
31.7	0.0158	1/6.8	0.921
42.1	0.0210	2/13.1	0.959
49.4	0.0247	2/10.8	1.163
56.8	0.0284	5/21.6	1.454
61.4	0.0307	5/19.4	1.620
60.6	0.0303	5/19.8	1.587
67.8	0.0339	5/17.1	1.836
76.2	0.0381	5/14.6	2.152
82.4	0.0412	5/13.1	2.397
91.7	0.0458	10/22.8	2.755
100.0	0.0500	10/20.6	3.050
103.8	0.0544	10/18.1	3.491
127.1	0.6355	10/14.7	4.274
136.0	0.0680	10/13.5	4.655

稀釋濃度 40%, 室温 16.1°C, 試料温度 5°C, 線條 No. 2,

振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)
"			
4.1	0.0020	1/37.6	0.167
8.0	0.0040	1/16.6	0.378
13.7	0.0068	1/9.6	0.654
18.9	0.0094	2/13.4	0.937
24.2	0.0121	2/10.4	1.203
29.3	0.0146	5/20.8	1.509
30.1	0.0150	5/20.0	1.569
35.4	0.0177	5/17.2	1.826
39.8	0.0199	5/15.0	2.094
43.7	0.0218	5/14.0	2.242
50.6	0.0253	5/11.6	2.707
55.3	0.0276	10/21.2	2.962
61.6	0.0308	10/19.2	3.272
71.2	0.0356	10/16.4	3.831
81.2	0.0406	10/15.0	4.183
—	—	—	—

稀釋濃度 40%, 室温 16.1°C, 試料温度 10°~10.2°C, 線條 No. 2

振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)
"			
3.6	0.0018	1/42.2	0.148
7.1	0.0035	1/17.6	0.357
11.8	0.0059	1/9.2	0.683
16.1	0.0080	2/13.4	0.937
20.9	0.0104	2/10.0	1.256
24.8	0.0124	5/21.0	1.495
25.7	0.0128	5/19.8	1.586
29.5	0.0147	5/17.0	1.847
33.1	0.0165	5/15.2	2.066
37.1	0.0185	5/13.2	2.378
42.8	0.0214	10/22.8	2.756
47.4	0.0237	10/20.0	3.141
53.1	0.0265	10/18.0	3.491
59.3	0.0296	10/16.0	3.926
65.2	0.0326	10/14.8	4.246
—	—	—	—

稀釋濃度 40%, 室温 15.8°C, 試料温度 15°C, 線條 No. 2

振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)
"			
2.9	0.0014	1/37.6	0.167
5.7	0.0028	1/17.6	0.357
9.4	0.0047	1/9.5	0.661
12.9	0.0064	2/13.6	0.924
16.8	0.0084	2/9.8	1.283
19.2	0.0096	5/22.6	1.388
21.2	0.0106	5/19.8	1.586
20.8	0.0104	5/20.2	1.555
24.3	0.0121	5/16.8	1.868
28.1	0.0140	5/15.0	2.093
30.2	0.0151	5/13.8	2.276
34.1	0.0133	5/11.3	2.780
41.0	0.0205	5/10.2	3.079
43.7	0.0218	10/18.0	3.490
51.1	0.0255	10/16.0	3.927
56.1	0.0280	10/14.6	4.302

別表 第1 (G 號)

稀釋濃度 40%，室温 15.4°C，試料温度 20°~20.2°C，線條 No. 2				稀釋濃度 40%，室温 15.6°C，試料温度 25°C，線條 No. 2				稀釋濃度 40%，室温 16°C，試料温度 30°C，線條 No. 2				稀釋濃度 40%，室温 16.5°C，試料温度 35°C，線條 No. 2			
振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數 所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)	振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數 所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)	振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數 所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)	振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數 所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)
ノー1000				〃				〃				〃			
2.5	0.0012	1/40.2	0.156	2.5	0.0012	1/35.6	0.176	2.4	0.0012	1/32.8	0.191	2.0	0.0010	1/39.2	0.160
5.1	0.0025	1/17.0	0.369	4.5	0.0022	1/17.2	0.365	5.2	0.0026	1/12.9	0.486	4.1	0.0020	1/15.4	0.407
8.8	0.0044	1/9.2	0.682	7.2	0.0036	1/10.1	0.622	8.2	0.0041	1/8.0	0.785	6.7	0.0033	1/9.2	0.682
12.2	0.0061	2/12.8	0.982	9.9	0.0049	2/14.2	0.884	10.4	0.0052	2/11.8	1.064	9.3	0.0046	2/12.6	0.997
14.7	0.0073	2/10.6	1.186	12.2	0.0061	2/11.4	1.102	12.6	0.0063	2/25.3	1.241	11.7	0.0058	2/25.2	1.246
16.6	0.0083	5/23.2	1.354	14.2	0.0071	5/24.0	1.308	14.3	0.0071	5/21.6	1.454	13.6	0.0068	5/21.4	1.467
18.5	0.0092	5/19.6	1.603	16.4	0.0082	5/20.8	1.511	15.1	0.0075	5/19.6	1.602	14.0	0.0070	5/20.4	1.539
19.9	0.0099	5/19.2	1.636	16.8	0.0084	5/18.8	1.671	17.9	0.0089	5/16.8	1.868	16.2	0.0081	5/17.4	1.805
22.2	0.0111	5/16.8	1.870	19.1	0.0095	5/17.3	1.816	20.3	0.0101	5/14.9	2.107	18.2	0.0091	5/15.2	2.066
25.2	0.0126	5/15.1	2.050	21.8	0.0109	5/15.4	2.039	22.6	0.0113	5/13.4	2.343	20.7	0.0103	5/13.6	2.303
28.8	0.0144	5/12.8	2.454	23.7	0.0128	5/14.0	2.244	26.2	0.0131	5/11.2	2.804	23.4	0.0117	10/23.4	2.684
31.8	0.0159	5/11.4	2.755	27.7	0.0138	5/11.8	2.662	28.1	0.0140	5/10.6	2.962	26.1	0.0130	10/21.2	2.962
35.8	0.0179	5/10.2	3.05	31.0	0.0155	5/10.6	2.964	32.8	0.0164	10/18.6	3.377	29.2	0.0146	10/19.0	3.306
40.8	0.0204	10/17.8	3.561	33.2	0.0166	10/19.8	3.172	37.9	0.0189	10/15.6	4.027	33.8	0.0169	10/16.4	3.831
44.7	0.0223	10/16.0	3.928	37.6	0.0188	10/17.2	3.652	39.7	0.0198	10/15.0	4.187	36.6	0.0183	10/15.2	4.133
47.7	0.0238	10/15.2	4.133	40.2	0.0201	10/15.8	3.974	—	—	—	—	40.8	0.0204	10/13.6	4.620
—	—	—	—	43.2	0.0215	10/15.4	4.08	—	—	—	—	—	—	—	—

別表 第2 (H 號)

稀釋濃度 100%，室温 18°C，試料温度 5°C，線條 No. 1				稀釋濃度 100%，室温 18°C，試料温度 10°C，線條 No. 1				稀釋濃度 100%，室温 15°C，試料温度 15°C，線條 No. 1				稀釋濃度 100%，室温 18.2°C，試料温度 20°C，線條 No. 1			
振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數 所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)	振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數 所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)	振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數 所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)	振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數 所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)
〃				〃				〃				〃			
14.4	0.0072	1/37.4	0.168	17.7	0.0088	1/26.4	0.238	10.8	0.0054	1/37.8	0.166	12.3	0.0061	1/33.8	0.186
37.0	0.0185	1/13.8	0.455	42.2	0.0211	1/10.3	0.610	28.2	0.0141	1/13.4	0.469	27.2	0.0136	1/12.6	0.498
67.8	0.0339	2/14.6	0.860	61.3	0.0306	2/13.3	0.944	45.0	0.0225	2/16.2	0.776	39.2	0.0196	2/16.4	0.766
90.8	0.0454	3/16.0	1.177	76.4	0.0382	4/16.4	1.148	61.8	0.0309	3/17.5	1.077	53.5	0.0267	3/17.3	1.089
111.2	0.0556	4/17.0	1.478	91.8	0.0474	5/21.6	1.455	73.8	0.0369	4/19.0	1.322	64.5	0.0322	4/19.4	1.295
133.4	0.0667	5/17.6	1.783	110.8	0.0554	5/17.8	1.765	87.2	0.0436	5/19.8	1.587	75.5	0.0377	5/20.3	1.547
153.2	0.0776	6/18.4	2.047	129.8	0.0649	6/18.4	2.048	96.4	0.0482	6/21.8	1.730	84.6	0.0423	6/20.8	1.811
175.7	0.0878	7/18.8	2.338	141.2	0.0706	7/19.4	2.267	114.2	0.0571	7/18.4	2.048	97.6	0.0488	6/18.6	2.027
200.2	0.1001	8/18.6	2.700	163.2	0.0816	8/19.0	2.644	128.4	0.0642	7/18.4	2.389	110.4	0.0552	7/19.0	2.314
217.0	0.1085	10/21.2	2.963	183.2	0.0916	9/19.0	2.977	148.8	0.0744	9/20.6	2.744	133.2	0.0666	8/18.0	2.791
237.5	0.1187	10/19.3	3.257	198.8	0.0994	10/19.2	3.271	158.4	0.0792	10/21.0	2.992	141.2	0.0706	10/21.1	2.978
271.8	0.1359	10/16.7	3.762	224.8	0.1124	10/17.2	3.652	175.6	0.0878	10/18.8	3.343	151.5	0.0757	10/19.2	3.273
—	—	—	—	250.2	0.1251	15/23.0	4.096	206.4	0.1032	10/16.4	3.832	179.2	0.0896	15/24.8	3.801
—	—	—	—	—	—	—	—	224.2	0.1121	10/15.1	4.161	194.4	0.0972	15/23.0	4.098

稀釋濃度 100%，室温 17°C，試料温度 26°C，線條 No. 1				稀釋濃度 100%，室温 17°C，試料温度 29.8°C，線條 No. 1				稀釋濃度 100%，室温 17°C，試料温度 35.2°C，線條 No. 1				稀釋濃度 80%，室温 18°C，試料温度 4.5°C，線條 No. 2			
振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數 所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)	振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數 所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)	振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數 所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)	振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數 所要時間	回轉速度 (ラヂアン/秒)
〃				〃				〃				〃			
8.8	0.0044	1/34.6	0.181	8.8	0.0044	1/31.8	0.197	9.3	0.0046	1/27.2	0.232	36.2	0.0181	1/30.0	0.209
21.7	0.0108	1/13.0	0.483	19.5	0.0097	1/13.2	0.476	16.2	0.0081	1/15.0	0.418	76.0	0.038	1/13.8	0.455
31.2	0.0156	2/18.0	0.698	29.9	0.0149	2/17.1	0.734	23.0	0.0115	1/10.4	0.604	116.0	0.058	2/17.5	0.718
43.2	0.0216	3/19.2	0.981	42.1	0.0210	3/18.0	1.047	30.0	0.0150	1/7.8	0.805	159.5	0.0797	3/18.3	1.029
53.2	0.0266	4/20.2	1.243	51.2	0.0256	4/18.7	1.343	37.0	0.0185	2/12.0	1.046	198.5	0.0992	4/19.3	1.301
63.8	0.0319	5/20.8	1.509	59.0	0.0295	5/20.0	1.570	43.4	0.0217	2/10.2	1.232	236.2	0.1181	5/20.4	1.539
74.2	0.0371	6/21.2	1.778	67.2	0.0336	6/21.4	1.761	51.2	0.0256	5/21.2	1.481	250.2	0.1251	6/22.6	1.667
85.2	0.0426	7/21.0	2.092	77.0	0.0385	7/21.0	2.093	57.2	0.0286	5/18.4	1.706	285.2	0.1426	7/23.2	1.895
91.5	0.0457	8/22.2	2.264	85.8	0.0429	8/21.4	2.348	54.2	0.0271	5/20.0	1.570	321.5	0.1607	8/24.0	2.092
108.4	0.0542	10/23.4	2.686	98.4	0.0492	10/23.7	2.651	65.5	0.0327	5/16.0	1.961	379.5	0.1897	10/25.0	2.512
123.5	0.0617	10/20.4	3.080	103.5	0.0542	10/20.4	3.081	78.8	0.0394	5/13.2	2.378	—	—	—	—
136.4	0.0682	12/21.6	3.490	117.6	0.0588	10/19.0	3.306	90.2	0.0451	5/11.2	2.803	—	—	—	—
157.5	0.0787	15/23.8	3.961	134.5	0.0672	12/20.0	3.769	102.5	0.0512	5/11.2	2.803	—	—	—	—
169.5	0.0847	15/22.0	4.282	152.5	0.0762	15/21.8	4.321	—	—	—	—	—	—	—	—

別表 第2 (H 號)

稀釋濃度 80%, 室溫 17.9°C, 試料溫度 10.1°C, 線條 No. 2

振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數 所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)
D=1000			
32.2	0.0161	1/28.4	0.221
62.6	0.0313	1/14.4	0.436
95.5	0.0477	2/17.4	0.721
119.5	0.0597	3/20.4	0.923
146.8	0.0734	4/22.0	1.141
181.5	0.0907	5/21.8	1.441
215.5	0.1077	6/21.6	1.745
249.5	0.1247	7/22.4	1.963
276.4	0.1382	8/22.4	2.243
319.5	0.1597	10/24.0	2.617
363.2	0.1816	10/21.4	2.936
385.2	0.1926	10/20.0	3.142
—	—	—	—
—	—	—	—
—	—	—	—

稀釋濃度 80%, 室溫 17.8°C, 試料溫度 15.1°C, 線條 No. 2

振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數 所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)
"			
28.5	0.0142	1/27.0	0.232
61.6	0.0308	1/12.6	0.498
94.2	0.0471	2/15.4	0.816
118.2	0.0591	3/17.6	1.071
141.8	0.0709	4/19.8	1.269
168.6	0.0843	5/21.0	1.496
180.6	0.0903	6/20.7	1.655
219.4	0.1097	7/22.2	1.981
250.8	0.1254	10/27.0	2.327
283.2	0.1416	10/23.4	2.695
319.2	0.1596	10/21.1	2.978
354.5	0.1772	10/18.8	3.342
—	—	—	—
—	—	—	—
—	—	—	—

稀釋濃度 80%, 室溫 17.9°C, 試料溫度 20°C, 線條 No. 2

振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數 所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)
"			
20.6	0.0103	1/33.2	0.1892
48.8	0.0244	1/14.0	0.4489
77.8	0.0389	2/16.4	0.7663
102.8	0.0514	3/17.8	1.059
125.6	0.0628	4/19.4	1.295
147.8	0.0739	5/20.0	1.571
169.8	0.0849	6/20.8	1.812
196.8	0.0984	7/21.3	2.063
219.2	0.1096	8/21.4	2.348
252.8	0.1264	9/20.2	2.798
285.6	0.1428	10/20.4	3.080
293.2	0.1466	10/19.8	3.172
341.8	0.1709	10/17.4	3.610
378.5	0.1892	12/18.4	4.097
—	—	—	—

稀釋濃度 80%, 室溫 17.9°C, 試料溫度 25.1°C, 線條 No. 2

振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數 所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)
"			
26.6	0.0133	1/22.4	0.280
44.6	0.0223	1/13.0	0.483
64.8	0.0324	2/16.6	0.755
86.8	0.0434	3/18.7	1.007
103.8	0.0519	4/21.0	1.196
121.8	0.0609	5/21.3	1.474
153.4	0.0767	6/20.4	1.847
171.8	0.0859	7/21.2	2.073
193.8	0.0969	8/21.0	2.391
222.2	0.1111	10/23.2	2.707
249.6	0.1248	10/20.4	3.080
280.5	0.1252	10/20.4	3.080
259.6	0.1298	15/29.8	3.161
293.2	0.1466	15/26.0	3.624
332.2	0.1661	15/22.8	4.132

稀釋濃度 80%, 室溫 18°C, 試料溫度 30.5°C, 線條 No. 2

振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數 所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)
"			
20.0	0.0100	1/26.8	0.234
35.6	0.0178	1/14.4	0.436
54.2	0.0271	2/18.2	0.690
72.6	0.0363	3/20.5	0.919
90.8	0.0454	4/21.2	1.185
105.8	0.0534	5/21.9	1.434
128.2	0.0641	6/22.5	1.675
145.2	0.0731	7/21.8	2.018
163.8	0.0819	8/22.2	2.262
183.5	0.0942	9/22.0	2.569
210.6	0.1053	10/21.4	2.934
241.8	0.1209	12/22.9	3.291
275.6	0.1378	12/19.8	3.807
—	—	—	—
—	—	—	—

稀釋濃度 80%, 室溫 17.9°C, 試料溫度 35°C, 線條 No. 2

振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數 所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)
"			
19.0	0.0095	1/25.6	0.245
37.0	0.0185	1/12.6	0.498
55.2	0.0276	2/16.4	0.766
73.6	0.0368	3/17.8	1.058
86.4	0.0432	4/20.6	1.219
100.6	0.0503	5/21.5	1.461
119.4	0.0597	6/21.2	1.778
137.5	0.0687	7/21.8	2.016
153.5	0.0767	8/22.0	2.282
178.2	0.0891	9/21.1	2.679
206.4	0.1032	10/20.9	3.006
228.8	0.1144	10/18.2	3.452
261.5	0.1307	12/19.0	3.967
300.4	0.1502	15/21.0	4.488
—	—	—	—

稀釋濃度 60%, 室溫 17.6°C, 試料溫度 5°C, 線條 No. 2

振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數 所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)
"			
11.4	0.0057	1/34.2	0.183
23.2	0.0116	1/15.4	0.383
38.1	0.0191	2/19.2	0.654
51.2	0.0256	3/20.6	0.914
65.0	0.0325	4/22.0	1.142
79.1	0.0395	5/22.3	1.408
89.2	0.0446	6/22.5	1.675
107.4	0.0537	7/22.4	1.963
124.6	0.0623	8/21.6	2.326
145.8	0.0729	9/20.7	2.719
163.8	0.0819	10/20.7	3.034
180.2	0.0901	15/28.0	3.365
200.2	0.1001	15/25.0	3.770
—	—	—	—
—	—	—	—

稀釋濃度 60%, 室溫 17.7°C, 試料溫度 10.1°C, 線條 No. 2

振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數 所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)
"			
9.9	0.0049	1/32.4	0.193
20.2	0.0101	1/15.4	0.408
34.2	0.0171	2/15.0	0.693
46.8	0.0234	3/19.0	0.992
57.2	0.0286	4/19.8	1.269
67.2	0.0336	5/21.4	1.467
78.2	0.0391	6/21.7	1.736
91.2	0.0456	7/21.2	2.074
104.2	0.0521	8/21.5	2.338
118.8	0.0594	9/20.9	2.704
133.4	0.0667	10/20.2	3.110
142.6	0.0713	15/29.0	3.250
168.8	0.0844	15/24.0	3.927
195.2	0.0976	15/21.5	4.382
194.8	0.0974	15/21.6	4.362

稀釋濃度 60%, 室溫 17.8°C, 試料溫度 15°C, 線條 No. 2

振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數 所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)
"			
7.0	0.0035	1/36.6	0.176
15.1	0.0075	1/17.4	0.361
24.4	0.0122	2/20.0	0.628
34.2	0.0171	3/20.7	0.910
43.7	0.0218	4/22.2	1.131
54.4	0.0272	5/21.3	1.475
64.2	0.0321	6/21.5	1.753
75.6	0.0378	8/24.2	2.077
87.4	0.0437	9/23.5	2.405
99.8	0.0499	10/23.1	2.720
110.8	0.0554	10/20.6	3.050
118.4	0.0592	12/23.2	3.250
132.8	0.0664	15/25.6	3.681
145.8	0.0729	15/23.6	3.994
—	—	—	—

稀釋濃度 60%, 室溫 18°C, 試料溫度 20.1°C, 線條 No. 2

振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數 所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)
"			
10.6	0.0053	1/20.4	0.308
20.6	0.0103	1/10.4	0.604
30.4	0.0152	2/13.7	0.917
44.8	0.0224	3/14.0	1.346
55.2	0.0276	4/14.8	1.693
67.6	0.0338	5/14.7	2.136
81.6	0.0408	6/14.6	2.581
96.0	0.048	7/14.5	3.034
72.0	0.036	7/19.4	2.268
80.6	0.0403	8/19.8	2.539
88.8	0.0444	9/20.4	2.771
97.0	0.0485	10/20.6	3.050
103.0	0.0515	10/19.2	3.272
116.2	0.5581	12/21.0	3.590
126.8	0.0634	15/23.5	4.010

稀釋濃度 60%, 室溫 19°C, 試料溫度 25°C, 線條 No. 2

振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數 所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)
"			
5.4	0.0027	1/34.8	0.180
12.6	0.0063	1/15.0	0.418
20.8	0.0104	2/17.6	0.714
29.3	0.0146	3/19.0	0.991
35.9	0.0179	4/20.3	1.287
42.2	0.0211	5/20.8	1.510
49.8	0.0249	6/21.5	1.753
59.4	0.0297	7/21.4	2.055
68.0	0.034	10/25.5	2.464
79.2	0.0396	10/22.0	2.857
86.2	0.0431	10/20.2	3.111
93.2	0.0466	12/23.0	3.277
101.4	0.0507	12/20.4	3.695
114.0	0.057	15/22.8	4.133
—	—	—	—

稀釋濃度 60%, 室溫 18.1°C, 試料溫度 30.2°C, 線條 No. 2

振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數 所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)
"			
5.8	0.0029	1/28.6	0.219
11.8	0.0059	1/13.4	0.468
19.0	0.0095	2/16.8	0.748
25.6	0.0128	3/18.6	1.013
31.2	0.0155	4/20.2	1.244
38.8	0.0194	5/20.0	1.571
45.4	0.0227	6/20.6	1.831
52.2	0.0261	7/20.6	2.134
57.6	0.0288	8/21.0	2.392
63.2	0.0316	9/22.0	2.570
70.6	0.0353	10/21.8	2.882
77.4	0.0387	10/19.8	3.174
85.2	0.0426	12/21.8	3.458
94.2	0.0471	12/19.5	3.847
—	—	—	—

別表 第2 (H 號)

稀釋濃度 60%, 室温 18.2°C, 試料温度 35.5°C, 線條 No. 2				稀釋濃度 40%, 室温 18°C, 試料温度 5°C, 線條 No. 2				稀釋濃度 40%, 室温 18.2°C, 試料温度 10°C, 線條 No. 2				稀釋濃度 40%, 室温 18.2°C, 試料温度 15°C, 線條 No. 2			
振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數 所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)	振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數 所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)	振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數 所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)	振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數 所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)
D=1000															
4.2	0.0021	1/34.6	0.181	4.2	0.0021	1/34.8	0.180	4.1	0.00205	1/30.6	0.205	3.0	0.0015	1/35.9	0.175
9.8	0.0049	1/14.6	0.430	10.0	0.005	1/14.8	0.424	8.4	0.0042	1/14.6	0.430	5.8	0.0029	1/18.3	0.343
16.4	0.0082	2/17.2	0.730	16.8	0.0084	2/17.8	0.706	14.0	0.007	2/17.8	0.705	9.4	0.0047	1/10.8	0.582
22.0	0.0110	3/19.3	0.976	22.6	0.0113	3/19.7	0.956	19.2	0.0096	3/19.6	0.960	13.6	0.0068	3/23.1	0.815
28.4	0.0142	4/20.2	1.244	29.0	0.0145	4/20.6	1.219	23.8	0.0119	4/20.3	1.238	17.8	0.0089	4/23.2	1.082
34.2	0.0171	5/20.2	1.555	36.0	0.018	5/20.3	1.547	29.8	0.0149	5/20.2	1.555	21.2	0.0106	4/18.5	1.350
38.0	0.0190	6/21.4	1.761	42.8	0.0214	6/21.2	1.777	34.2	0.0171	6/21.7	1.735	25.4	0.0127	6/24.4	1.545
46.4	0.0232	7/21.2	2.072	48.8	0.0244	7/21.2	2.074	39.6	0.0198	7/20.9	2.103	29.8	0.0149	6/20.3	1.857
50.6	0.0253	8/22.0	2.284	53.0	0.0265	8/21.9	2.293	41.8	0.0209	8/22.3	2.252	33.4	0.0167	7/20.4	2.154
55.2	0.0276	9/22.5	2.513	60.2	0.0301	9/22.0	2.570	47.2	0.0236	9/23.0	2.459	36.4	0.0182	8/22.0	2.283
62.2	0.0311	10/22.8	2.756	65.0	0.0325	10/21.8	2.882	55.0	0.0275	10/21.9	2.870	41.2	0.0206	10/24.0	2.617
67.8	0.0339	10/20.2	3.111	76.4	0.0382	12/23.4	3.221	63.0	0.0315	10/19.2	3.271	48.8	0.0244	12/25.2	2.991
73.6	0.0368	12/22.6	3.337	84.2	0.0421	12/21.2	3.555	71.2	0.0356	12/20.2	3.733	54.8	0.0274	15/28.2	3.341
81.2	0.0405	13/21.2	3.557	96.4	0.0482	15/22.9	4.116	79.2	0.0396	15/22.3	4.226	60.0	0.0300	15/25.2	3.740
91.4	0.0458	15/22.8	4.148	103.2	0.0516	15/21.4	4.406	86.6	0.0433	15/20.8	4.529	66.2	0.0331	15/22.6	4.169
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	72.4	0.0362	15/21.0	4.487

稀釋濃度 40%, 室温 18.2°C, 試料温度 20.1°C, 線條 No. 2				稀釋濃度 40%, 室温 18.5°C, 試料温度 25.1°C, 線條 No. 2				稀釋濃度 40%, 室温 18.8°C, 試料温度 30.7°C, 線條 No. 2				稀釋濃度 40%, 室温 18.9°C, 試料温度 35°C, 線條 No. 2			
振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數 所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)	振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數 所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)	振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數 所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)	振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數 所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)
2.7	0.0013	1/34.6	0.181	2.2	0.0011	1/35.6	0.176	2.0	0.0010	1/31.8	0.197	2.2	0.0011	1/28.2	0.222
5.1	0.0025	1/17.6	0.356	4.9	0.0024	1/16.8	0.374	4.1	0.0020	1/16.6	0.378	4.2	0.0021	1/15.0	0.418
8.4	0.0042	2/22.0	0.570	8.2	0.0041	2/19.4	0.648	6.7	0.0033	2/20.8	0.604	7.0	0.0035	1/9.4	0.668
12.1	0.0060	2/15.3	0.820	11.2	0.0056	3/20.4	0.923	10.0	0.0050	3/19.8	0.951	9.8	0.0049	2/13.4	0.937
17.8	0.0089	4/19.6	1.281	14.4	0.0072	4/21.8	1.152	12.6	0.0063	4/21.7	1.158	12.2	0.0061	4/20.6	1.219
20.4	0.0102	5/21.1	1.483	17.2	0.0086	5/22.4	1.402	15.2	0.0076	5/22.2	1.415	15.0	0.0075	5/20.4	1.475
24.0	0.0120	6/21.8	1.729	21.4	0.0107	6/21.0	1.795	19.2	0.0096	6/20.6	1.830	17.4	0.0087	6/21.3	1.768
28.1	0.0140	7/21.2	2.075	24.6	0.0123	10/30.6	2.052	22.2	0.0111	7/21.2	2.074	20.6	0.0103	7/20.8	2.113
31.8	0.0159	8/21.8	2.305	28.1	0.0140	10/26.6	2.361	25.1	0.0125	8/21.0	2.391	22.4	0.0112	8/21.5	2.337
35.4	0.0177	10/24.6	2.552	31.2	0.0156	10/24.2	2.596	29.0	0.0145	10/22.6	2.780	26.0	0.0130	10/23.6	2.661
40.0	0.02	10/21.3	2.950	35.4	0.0177	10/21.2	2.962	32.2	0.0161	10/20.6	3.050	29.7	0.0148	10/20.6	3.050
46.6	0.0233	15/28.0	3.366	40.0	0.0200	10/18.8	3.341	36.8	0.0184	10/18.0	3.490	32.7	0.0163	12/22.0	3.428
51.6	0.0258	15/25.2	3.740	45.1	0.0225	15/25.4	3.710	41.6	0.0208	12/19.0	3.963	36.0	0.0180	15/25.6	3.681
57.4	0.0287	15/22.4	4.205	49.4	0.0247	15/22.6	4.171	46.2	0.0231	15/21.2	4.443	40.0	0.0200	15/23.4	4.027
—	—	—	—	53.8	0.0269	17/23.4	4.561	—	—	—	—	43.6	0.0218	15/20.8	4.531

別表 第3 (E 號)

稀釋濃度 100°, 室温 15.2°C, 試料温度 4.8°C, 線條 No. 1				稀釋濃度 100%, 室温 15.9°C, 試料温度 10.2°C, 線條 No. 1				稀釋濃度 100%, 室温 16°C, 試料温度 15°C, 線條 No. 1				稀釋濃度 100%, 室温 16.1°C, 試料温度 20.1°C, 線條 No. 1			
振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數 所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)	振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數 所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)	振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數 所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)	振れ θ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數 所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)
12.2	0.0061	1/37.0	0.169	8.8	0.0044	1/37.1	0.169	8.4	0.0042	1/31.4	0.200	6.1	0.0031	1/40.4	0.155
26.6	0.0133	1/14.0	0.448	16.2	0.0081	1/17.6	0.357	15.6	0.0078	1/16.2	0.387	11.4	0.0057	1/19.0	0.330
40.8	0.0204	2/16.7	0.752	26.2	0.0131	2/21.4	0.587	23.8	0.0119	2/19.3	0.650	18.8	0.0094	1/10.6	0.592
54.8	0.0274	3/18.6	1.013	35.7	0.0178	2/14.8	0.849	34.2	0.0171	3/19.4	0.970	26.6	0.0133	2/14.6	0.860
65.7	0.0328	4/19.5	1.288	45.8	0.0229	3/16.8	1.121	42.6	0.0213	4/21.3	1.178	33.7	0.0168	3/17.4	1.083
77.0	0.0385	5/21.3	1.475	55.6	0.0278	4/19.0	1.322	53.0	0.0265	5/20.4	1.539	38.8	0.0194	4/19.6	1.282
90.3	0.0451	6/20.6	1.830	61.2	0.0306	5/20.6	1.524	62.8	0.0314	6/20.4	1.847	44.7	0.0223	5/20.8	1.509
102.2	0.0511	7/21.2	2.072	71.8	0.0359	6/20.5	1.537	70.8	0.0354	7/21.4	2.054	53.8	0.0269	6/21.4	1.761
114.0	0.0570	8/21.6	2.326	81.4	0.0407	7/21.6	2.037	82.0	0.0410	8/21.0	2.392	61.1	0.0305	7/21.6	2.037
133.6	0.0668	9/20.5	2.767	94.2	0.0471	8/21.0	2.392	93.2	0.0466	10/22.6	2.780	69.4	0.0347	8/21.4	2.347
144.2	0.0721	10/21.6	2.908	106.8	0.0534	10/22.6	2.780	102.8	0.0514	12/24.4	2.991	81.0	0.0405	10/23.2	2.708
158.4	0.0792	10/19.0	3.307	117.6	0.0588	10/21.0	2.991	114.4	0.0572	12/21.8	3.458	89.4	0.0447	10/20.6	3.050
—	—	—	—	127.4	0.0612	10/19.4	3.239	133.4	0.0667	15/23.4	4.027	97.0	0.0485	15/27.6	3.412
—	—	—	—	138.8	0.0694	12/20.6	3.659	—	—	—	—	113.7	0.0568	15/24.4	3.861
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	127.2	0.0636	20/28.8	4.367

別表 第3 (E・號)

稀釋濃度 100%, 室温 16.2°C, 試料温度 25.4°C, 線條 No. 1				稀釋濃度 100%, 室温 15.8°C, 試料温度 30.1°C, 線條 No. 1				稀釋濃度 100%, 室温 15.6°C, 試料温度 35°C, 線條 No. 1				稀釋濃度 80%, 室温 17.1°C, 試料温度 5.1°C, 線條 No. 2			
振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)	振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)	振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)	振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)
D=1000				"				"				"			
6.0	0.0030	1/34.4	0.182	5.8	0.0029	1/32.4	0.193	6.2	0.0031	1/26.0	0.241	15.1	0.0075	1/39.0	0.161
11.6	0.0058	1/15.6	0.403	11.2	0.0056	1/14.8	0.424	11.1	0.0056	1/13.4	0.468	27.8	0.0139	2/18.2	0.345
19.8	0.0099	2/17.0	0.739	16.4	0.0082	2/18.6	0.675	16.6	0.0083	2/16.2	0.775	46.3	0.0231	2/20.5	0.612
26.8	0.0134	3/18.3	1.002	22.4	0.0112	3/19.6	0.960	21.8	0.0106	3/17.8	1.058	65.1	0.0325	3/21.2	0.888
34.0	0.0170	4/19.6	1.295	27.3	0.0136	4/21.8	1.152	27.2	0.0136	4/19.4	1.295	83.8	0.0419	4/21.0	1.196
39.2	0.0196	5/20.6	1.525	32.8	0.0164	5/22.0	1.427	30.8	0.0154	5/20.8	1.510	102.8	0.0514	5/21.8	1.440
45.1	0.0225	6/21.2	1.776	39.0	0.0195	6/21.6	1.744	35.6	0.0178	6/20.6	1.830	126.2	0.0631	6/21.0	1.794
52.2	0.0261	7/21.4	2.053	46.4	0.0232	7/21.6	2.035	40.6	0.0203	7/21.0	2.092	144.8	0.0724	7/20.6	2.133
60.5	0.0302	8/20.6	2.439	54.0	0.0270	8/20.6	2.439	44.3	0.0222	8/22.0	2.283	160.6	0.0803	8/21.8	2.306
69.6	0.0348	10/22.6	2.781	62.4	0.0312	10/21.8	2.881	52.6	0.0263	10/22.6	2.780	178.8	0.0894	10/24.0	2.617
76.4	0.0382	10/20.9	3.006	67.6	0.0338	10/21.0	2.990	59.0	0.0295	12/25.0	3.016	194.8	0.0974	10/22.0	2.856
84.2	0.0421	15/27.2	3.462	75.4	0.0377	12/21.6	3.491	65.6	0.0328	15/27.5	3.426	207.4	0.1037	20/41.8	3.060
94.4	0.0472	15/25.0	3.769	86.2	0.0431	12/19.4	3.884	84.6	0.0423	15/21.4	4.401	—	—	—	—
105.8	0.0529	15/22.0	4.281	96.4	0.0482	15/21.4	4.402	—	—	—	—	—	—	—	—

稀釋濃度 80%, 室温 17.6°C, 試料温度 10°C, 線條 No. 2				稀釋濃度 80%, 室温 17.8°C, 試料温度 15.1°C, 線條 No. 2				稀釋濃度 80%, 室温 18°C, 試料温度 20.1°C, 線條 No. 2				稀釋濃度 80%, 室温 18°C, 試料温度 25°C, 線條 No. 2			
振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)	振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)	振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)	振れ (mm)	振れ θ (アラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (アヂアラン/秒)
"				"				"				"			
15.0	0.0075	1/30.6	0.205	16.8	0.0084	1/23.2	0.270	12.2	0.0061	1/32.2	0.195	12.0	0.0060	1/31.6	0.198
26.4	0.0132	1/16.2	0.387	29.2	0.0146	1/12.6	0.498	19.2	0.0096	1/18.6	0.349	22.0	0.0110	1/15.0	0.418
42.8	0.0214	2/18.6	0.675	39.8	0.0199	2/17.5	0.718	30.8	0.0154	2/21.5	0.584	32.4	0.0162	2/18.4	0.682
59.1	0.0295	3/20.1	0.937	51.0	0.0255	3/19.8	0.951	38.7	0.0193	3/24.4	0.772	42.6	0.0213	3/20.4	0.924
75.4	0.0377	4/21.1	1.191	64.0	0.0320	5/26.4	1.189	49.0	0.0245	3/19.1	0.986	52.2	0.0261	4/22.0	1.142
88.4	0.0443	5/21.2	1.481	76.4	0.0382	5/21.6	1.454	59.2	0.0296	4/21.0	1.196	63.2	0.0316	5/21.4	1.466
106.6	0.0533	5/17.8	1.764	90.0	0.0450	6/22.0	1.713	71.9	0.0359	5/20.6	1.525	76.2	0.0381	6/21.3	1.769
112.4	0.0562	7/22.9	1.920	103.0	0.0515	7/22.6	1.946	84.8	0.0424	6/20.9	1.803	90.8	0.0404	7/23.0	1.911
139.6	0.0695	8/21.2	2.370	118.2	0.0591	8/22.0	2.283	95.6	0.0478	7/21.8	2.018	95.6	0.0478	8/21.8	2.305
157.6	0.0788	10/23.8	2.640	134.2	0.0672	10/24.0	2.618	106.6	0.0533	8/21.8	2.305	106.6	0.0533	10/25.0	2.511
174.7	0.0874	10/21.2	2.964	147.4	0.0737	10/22.5	2.792	120.8	0.0604	10/24.0	2.617	116.8	0.0584	10/22.4	2.804
197.8	0.0989	12/22.4	3.365	157.2	0.0786	10/20.4	3.080	134.8	0.0674	10/21.4	2.936	127.6	0.0638	10/20.4	3.080
—	—	—	—	170.8	0.0854	12/22.4	3.356	156.8	0.0784	12/21.9	3.441	136.8	0.0684	15/28.8	3.271
—	—	—	—	196.8	0.0984	10/16.8	3.740	170.1	0.0851	10/16.8	3.740	153.8	0.0769	15/25.0	3.769
—	—	—	—	192.4	0.0962	15/25.0	3.770	—	—	—	—	—	—	—	—

稀釋濃度 80%, 室温 18.2°C 試料温度 39°C, 線條 No. 2				稀釋濃度 80%, 室温 18.2°C, 試料温度 35°C, 線條 No. 2				稀釋濃度 60%, 室温 14.1°C, 試料温度 4.6°C, 線條 No. 2				稀釋濃度 60%, 室温 18.9°C, 試料温度 10°C, 線條 No. 2			
振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)	振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)	振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)	振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)
"				"				"				"			
13.1	0.0065	1/28.6	0.219	11.6	0.0058	1/34.2	0.183	6.8	0.0034	1/33.0	0.190	5.7	0.0028	1/33.6	0.187
20.8	0.0104	1/15.6	0.402	18.1	0.0091	1/18.4	0.343	15.0	0.0075	1/14.2	0.442	11.1	0.0056	1/16.2	0.387
30.6	0.0153	2/18.8	0.668	26.7	0.0133	2/21.4	0.587	23.2	0.0116	2/17.8	0.705	18.2	0.0091	2/18.8	0.668
40.4	0.0202	3/20.4	0.923	37.0	0.0185	3/20.8	0.905	34.0	0.0170	3/18.0	1.046	25.3	0.0126	3/20.6	0.914
49.8	0.0249	4/21.3	1.179	46.6	0.0233	4/21.5	1.168	40.4	0.0202	4/20.6	1.220	31.2	0.0156	4/21.6	1.175
60.2	0.0301	5/21.0	1.495	54.0	0.0270	5/22.1	1.421	50.0	0.025	5/20.2	1.555	38.0	0.0190	5/22.2	1.415
71.3	0.0356	6/21.2	1.777	59.0	0.0295	5/19.8	1.586	57.6	0.0288	6/20.8	1.812	47.7	0.0238	6/21.4	1.760
81.2	0.0406	7/21.4	2.055	67.1	0.0335	5/17.3	1.765	66.6	0.0333	7/21.2	2.071	54.4	0.0272	7/21.2	2.073
92.2	0.0461	10/26.0	2.430	74.4	0.0372	7/21.6	2.037	76.4	0.0382	8/20.5	2.450	63.0	0.0315	10/26.2	2.397
101.8	0.0509	10/23.8	2.640	83.2	0.0416	10/26.8	2.342	86.2	0.0431	10/22.8	2.756	72.2	0.0361	10/23.0	2.732
114.2	0.0571	10/21.0	2.991	93.0	0.0465	10/25.0	2.512	96.8	0.0484	10/20.8	3.040	79.8	0.0399	10/20.8	3.021
128.0	0.0640	15/27.6	3.418	102.8	0.0514	10/21.4	2.937	106.8	0.0534	10/18.5	3.395	90.0	0.0450	10/18.2	3.452
145.2	0.0726	15/24.8	3.900	109.6	0.0548	10/20.2	3.111	120.2	0.0601	12/19.6	3.843	102.2	0.0511	12/19.8	3.907
—	—	—	—	118.4	0.0592	15/27.7	3.400	131.8	0.0659	15/22.6	4.181	116.4	0.0582	20/28.1	4.471
—	—	—	—	132.6	0.0663	20/32.4	3.878	145.0	0.0723	15/20.4	4.621	—	—	—	—

別表　第３　（E　號）

稀釋濃度 60%，室温 16°C，試料温度 15°C，線條 No. 2				稀釋濃度 60%，室温 16.4°C，試料温度 20.2°C，線條 No. 2				稀釋濃度 60%，室温 16.5°C，試料温度 25.6°C，線條 No. 2				稀釋濃度 60%，室温 18.1°C，試料温度 30°C，線條 No. 2			
振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)	振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)	振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)	振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)
D=1000															
5.4	0.0027	1/32.4	0.194	3.4	0.0027	1/28.0	0.224	4.6	0.0023	1/32.2	0.195	4.2	0.0021	1/33.2	0.189
10.8	0.0054	1/14.8	0.424	9.2	0.0046	1/15.8	0.397	9.0	0.0045	1/15.4	0.408	9.0	0.0045	1/14.2	0.442
16.2	0.0081	2/19.2	0.654	15.9	0.0079	2/17.6	0.714	14.6	0.0073	2/17.4	0.722	12.8	0.0064	2/18.8	0.668
22.5	0.0111	3/20.6	0.914	22.2	0.0111	3/18.4	1.024	19.8	0.0099	3/19.0	0.991	17.8	0.0089	3/19.2	0.981
27.8	0.0139	4/21.4	1.174	27.0	0.0135	4/19.3	1.301	25.0	0.0125	4/19.4	1.295	23.0	0.0115	4/19.6	1.282
35.0	0.0175	5/21.5	1.461	31.8	0.0159	5/21.4	1.466	29.3	0.0146	5/20.6	1.524	27.0	0.0135	5/20.6	1.525
44.8	0.0224	6/20.0	1.885	38.1	0.0191	6/21.0	1.794	34.8	0.0174	6/20.3	1.857	31.6	0.0158	6/20.6	1.831
49.8	0.0249	7/20.6	2.136	43.4	0.0217	7/21.0	2.094	39.4	0.0197	7/21.6	2.034	35.2	0.0176	8/24.6	2.041
57.6	0.0288	8/20.2	2.489	49.4	0.0247	10/26.4	2.380	45.2	0.0226	10/26.0	2.417	41.6	0.0208	8/21.0	2.392
66.2	0.0331	10/22.6	2.781	55.8	0.0279	10/23.4	2.684	51.4	0.0257	10/22.8	2.755	46.2	0.0231	8/18.8	2.672
72.6	0.0363	10/20.0	3.142	63.2	0.0316	10/20.0	3.110	56.8	0.0284	10/20.4	3.080	52.8	0.0264	10/20.5	3.063
79.6	0.0398	15/27.4	3.441	67.4	0.0337	15/28.8	3.271	62.0	0.031	12/22.6	3.333	57.8	0.0289	12/22.6	3.336
89.2	0.0446	13/24.2	3.894	77.0	0.0385	15/25.2	3.740	69.2	0.0346	15/25.4	3.710	66.2	0.0331	10/16.2	3.890
100.0	0.0500	15/22.0	4.288	87.2	0.0436	15/22.0	4.232	78.2	0.0391	15/22.2	4.242	74.2	0.0371	15/21.8	4.322
108.4	0.0542	10/26.5	4.742	94.4	0.0472	20/27.6	4.552	83.6	0.0418	20/28.0	4.490	—	—	—	—

稀釋濃度 60%，室温 17°C，試料温度 35.1°C，線條 No. 2				稀釋濃度 40%，室温 15°C，試料温度 4.4°C，線條 No. 2				稀釋濃度 40%，室温 15.6°C，試料温度 10°C，線條 No. 2				稀釋濃度 40%，室温 15.9°C，試料温度 15°C，線條 No. 2			
振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)	振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)	振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)	振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)
3.8	0.0019	1/34.0	0.184	3.0	0.0015	1/10.8	0.154	3.2	0.0016	1/31.2	0.201	7.2	0.0036	2/24.4	0.514
7.6	0.0038	1/16.2	0.387	6.8	0.0034	1/18.0	0.349	7.9	0.0039	1/12.8	0.490	12.2	0.0061	3/22.2	0.848
11.8	0.0059	2/18.8	0.668	12.6	0.0063	2/19.3	0.650	13.4	0.0067	2/14.6	0.860	16.3	0.0081	4/20.6	1.219
17.2	0.0086	4/24.5	1.025	18.0	0.0090	4/27.0	0.930	17.9	0.0089	3/16.4	1.149	20.6	0.0103	5/20.6	1.524
21.2	0.0106	4/20.0	1.256	23.0	0.0115	4/20.0	1.256	21.4	0.0107	4/18.6	1.351	24.8	0.0124	6/21.0	1.793
25.2	0.0126	5/20.4	1.540	28.3	0.0141	5/20.6	1.524	26.6	0.0133	5/18.2	1.725	28.5	0.0142	10/29.8	2.108
30.2	0.0151	6/20.4	1.848	33.0	0.0165	6/21.9	1.721	31.2	0.0156	6/18.4	2.048	33.6	0.0168	10/25.9	2.425
33.6	0.0168	6/18.4	2.048	38.3	0.0191	7/20.8	2.112	36.8	0.0184	7/18.6	2.362	38.2	0.0191	10/22.6	2.779
37.8	0.0189	8/21.5	2.337	44.4	0.0222	9/23.6	2.394	43.6	0.0218	8/18.6	2.701	42.3	0.0211	10/20.2	3.111
44.2	0.0221	8/18.0	2.791	50.0	0.0250	9/21.4	2.641	47.2	0.0236	9/20.0	2.984	49.6	0.0248	15/26.2	3.594
48.8	0.0244	10/20.6	3.049	55.8	0.0279	10/21.0	2.990	57.0	0.0285	10/17.4	3.611	57.2	0.0286	15/23.0	4.094
53.2	0.0266	12/23.0	3.278	66.4	0.0332	12/22.0	3.427	63.3	0.0316	12/19.2	3.926	61.8	0.0309	15/21.4	4.402
60.8	0.0304	15/24.4	3.861	76.0	0.0380	12/19.0	3.967	69.6	0.0348	15/21.4	4.402	—	—	—	—
69.2	0.0346	20/29.0	4.333	82.6	0.0413	15/21.2	4.442	—	—	—	—	—	—	—	—

稀釋濃度 40%，室温 15.9°C，試料温度 19.9°C，線條 No. 2				稀釋濃度 40%，室温 16.2°C，試料温度 25°C，線條 No. 2				稀釋濃度 40%，室温 16.5°C，試料温度 30.1°C，線條 No. 2				稀釋濃度 40%，室温 16.7°C，試料温度 35.2°C，線條 No. 2			
振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)	振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)	振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)	振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)
4.0	0.0020	1/20.2	0.311	3.8	0.0019	1/18.6	0.337	3.2	0.0016	1/19.7	0.319	3.2	0.0016	1/17.4	0.361
7.2	0.0036	2/20.8	0.604	7.2	0.0036	2/19.1	0.657	6.3	0.0031	2/19.6	0.640	6.7	0.0033	2/17.7	0.709
10.8	0.0054	3/21.8	0.864	10.2	0.0051	3/19.6	0.960	10.0	0.0050	3/19.0	0.991	9.0	0.0045	3/19.2	0.980
14.2	0.0071	4/21.3	1.180	13.4	0.0067	4/20.4	1.232	12.4	0.0062	4/20.5	1.225	11.8	0.0059	4/19.2	1.308
18.0	0.0090	5/20.6	1.524	16.8	0.0084	5/21.0	1.495	15.0	0.0075	5/20.6	1.525	13.8	0.0069	5/20.8	1.509
21.2	0.0106	6/22.0	1.712	20.4	0.0102	6/20.0	1.885	18.0	0.0090	6/20.2	1.866	16.8	0.0084	6/20.6	1.828
25.6	0.0128	7/21.1	2.082	22.6	0.0113	7/21.0	2.093	20.4	0.0102	6/18.8	2.002	18.6	0.0093	10/29.8	2.109
29.8	0.0149	10/23.6	2.453	26.3	0.0131	10/26.4	2.380	23.6	0.0118	10/26.0	2.417	21.7	0.0108	10/26.4	2.380
34.2	0.0171	10/23.0	2.731	30.3	0.0151	10/22.2	2.828	27.2	0.0136	10/22.6	2.780	25.0	0.0125	10/22.6	2.780
37.8	0.0189	10/20.4	3.079	34.2	0.0171	10/20.6	3.049	30.6	0.0153	15/30.8	3.059	27.8	0.0139	10/20.4	3.080
43.8	0.0219	15/26.4	3.557	40.4	0.0202	12/20.6	3.660	37.0	0.0185	15/25.2	3.740	32.8	0.0164	16/28.2	3.564
50.8	0.0254	15/23.2	4.061	45.8	0.0229	15/22.6	4.170	41.6	0.0208	15/23.0	4.096	37.0	0.0185	15/23.0	4.097
56.0	0.0280	15/20.8	4.528	50.2	0.0251	15/20.9	4.508	45.6	0.0228	15/21.0	4.488	42.2	0.0211	20/27.4	4.585

別表 第4 (F 號)

稀釋濃度 100%, 室温 16.6°C, 試料温度 14.7°C, 線條 No. 1				稀釋濃度 100%, 室温 18°C, 試料温度 10°C, 線條 No. 1				稀釋濃度 100%, 室温 17.8°C, 試料温度 15.2~15.1°C, 線條 No. 1				稀釋濃度 100%, 室温 18.2°C, 試料温度 20°C, 線條 No. 1			
振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)	振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)	振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)	振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)
D=1000															
24.1	0.0120	1/37.0	0.169	22.0	0.0110	1/37.2	0.168	20.8	0.0104	1/37.2	0.168	20.8	0.0104	1/36.6	0.170
35.7	0.0178	1/16.3	0.385	32.6	0.0163	1/15.4	0.407	31.1	0.0155	1/14.8	0.424	29.4	0.0147	1/15.4	0.400
46.7	0.0233	1/ 9.8	0.640	45.1	0.0225	1/ 8.0	0.787	40.8	0.0204	1/ 8.8	0.714	36.2	0.0181	1/ 9.8	0.638
58.3	0.0291	2/13.0	0.966	53.0	0.0265	2/12.4	1.013	49.1	0.0245	2/12.2	1.030	43.2	0.0216	2/13.5	0.926
67.1	0.0335	2/10.3	1.219	58.9	0.0294	2/10.0	1.256	57.2	0.0286	2/ 9.6	1.308	49.0	0.0245	2/10.4	1.201
75.3	0.0376	5/21.4	1.467	65.3	0.0326	5/20.4	1.539	61.2	0.0306	5/20.4	1.539	54.6	0.0273	5/21.0	1.495
74.7	0.0373	5/21.4	1.467	68.0	0.0340	5/19.2	1.635	60.4	0.0302	5/20.8	1.509	54.6	0.0273	5/20.4	1.540
82.3	0.0411	5/18.7	1.678	76.8	0.0384	5/16.2	1.938	68.2	0.0341	5/17.0	1.847	60.6	0.0303	5/17.4	1.804
91.3	0.0456	5/15.7	2.00	80.8	0.0404	5/14.8	2.121	73.8	0.0369	5/15.0	2.093	66.8	0.0334	5/14.8	2.121
97.6	0.0488	5/14.4	2.181	92.1	0.0460	5/12.2	2.573	78.0	0.0390	5/13.4	2.343	71.8	0.0359	5/13.4	2.343
103.9	0.0544	10/24.0	2.617	102.4	0.0512	5/10.4	3.018	88.4	0.0442	10/22.6	2.780	80.2	0.0401	5/11.2	2.802
117.2	0.0586	10/21.8	2.881	110.6	0.0553	10/18.6	3.377	95.0	0.0480	10/19.6	3.204	88.8	0.0444	10/18.8	3.342
127.6	0.0638	10/19.2	3.271	123.6	0.0618	10/16.0	3.928	103.2	0.0541	10/16.6	3.784	100.0	0.0500	10/15.8	3.977
138.6	0.0693	10/17.2	3.652	133.4	0.0667	10/14.3	4.393	120.2	0.0601	10/14.6	4.303	108.2	0.0541	10/14.1	4.456
140.5	0.0702	10/16.8	3.739	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
156.5	0.0782	10/14.8	4.244	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

稀釋濃度 100%, 室温 18°C, 試料温度 25°C, 線條 No. 1				稀釋濃度 100%, 室温 17.2°C, 試料温度 30°C. 線條 No. 1				稀釋濃度 100%, 室温 17°C, 試料温度 35°C, 線條 No. 1				稀釋濃度 80%, 室温 15.9°C, 試料温度 5.1°C, 線條 No. 2			
振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)	振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)	振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)	振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)
19.2	0.0095	1/38.4	0.163	20.0	0.0100	1/35.6	0.176	19.8	0.0099	1/38.6	0.162	33.8	0.0194	1/40.0	0.157
25.1	0.0130	1/17.2	0.365	29.1	0.0145	1/13.2	0.476	27.0	0.0135	1/15.8	0.397	54.2	0.0271	1/20.0	0.311
33.6	0.0168	1/ 9.9	0.634	36.0	0.0180	1/ 8.3	0.756	33.3	0.0166	1/ 9.5	0.661	77.8	0.0389	1/ 9.8	0.641
40.2	0.0201	2/13.6	0.924	41.6	0.0208	2/11.8	1.064	38.7	0.0193	2/13.2	0.951	95.2	0.0476	2/14.4	0.872
45.4	0.0227	2/10.4	1.208	46.3	0.0231	2/ 9.4	1.336	43.7	0.0218	2/10.2	1.231	109.8	0.0549	5/28.3	1.110
50.2	0.0251	5/21.6	1.454	50.0	0.0250	5/19.7	1.595	48.2	0.0241	5/20.2	1.555	123.4	0.0617	5/23.5	1.336
52.2	0.0261	5/20.2	1.555	52.2	0.0261	5/18.2	1.726	49.8	0.0249	5/19.2	1.635	138.6	0.0693	5/19.9	1.578
58.4	0.0292	5/16.8	1.869	57.6	0.0288	5/15.4	2.040	53.3	0.0267	5/16.4	1.915	142.8	0.0714	5/19.2	1.636
63.2	0.0316	5/14.6	2.151	62.2	0.0311	5/13.4	2.343	57.7	0.0288	5/14.7	2.135	166.4	0.0832	5/15.6	2.012
72.2	0.0361	5/11.5	2.732	69.2	0.0346	5/11.1	2.830	60.8	0.0304	5/13.2	2.379	189.6	0.0948	5/13.2	2.379
79.2	0.0396	10/20.1	3.125	75.2	0.0376	10/20.2	3.11	68.3	0.0341	5/10.8	2.903	210.4	0.1052	5/11.4	2.754
86.0	0.0430	10/17.8	3.530	81.9	0.0409	10/17.4	3.61	75.1	0.0375	5/ 9.3	3.378	230.2	0.1151	10/20.6	3.050
94.6	0.0473	10/15.6	4.028	88.6	0.0443	10/15.2	4.132	85.2	0.0426	10/14.8	4.246	266.4	0.1332	10/17.2	3.652
101.2	0.0506	10/13.8	4.551	95.5	0.0477	10/13.8	4.552	—	—	—	—	295.2	0.1476	10/15.2	4.132
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	362.4	0.1812	20/25.8	4.870

稀釋濃度 80%, 室温 15.9°C, 試料温度 10°C, 線條 No. 2				稀釋濃度 80%, 室温 15.1°C, 試料温度 15°C, 線條 No. 2				稀釋濃度 80%, 室温 15.9°C, 試料温度 20°C, 線條 No. 2				稀釋濃度 80%, 室温 15.7°C, 試料温度 25°C, 線條 No. 2			
振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)	振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)	振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)	振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)
43.1	0.0215	1/27.6	0.237	35.0	0.0175	1/34.6	0.181	33.6	0.0168	1/37.2	0.169	31.6	0.0158	1/39.6	0.158
66.1	0.0330	1/11.7	0.536	56.8	0.0284	1/13.2	0.475	50.0	0.0250	1/15.8	0.395	50.4	0.0252	1/14.3	0.439
83.2	0.0416	2/15.5	0.810	70.8	0.0354	2/18.2	0.690	66.2	0.0331	1/9.4	0.668	64.8	0.0324	1/8.8	0.714
96.6	0.0483	2/12.2	1.031	87.3	0.0436	2/11.8	1.065	84.0	0.0420	2/12.1	1.038	75.6	0.0378	2/13.2	0.951
109.4	0.0547	5/24.3	1.292	98.8	0.0494	5/24.6	1.276	94.2	0.0471	5/24.8	1.266	84.8	0.0424	5/26.8	1.171
121.4	0.0607	5/20.8	1.510	110.0	0.0550	5/20.6	1.524	102.2	0.0511	5/21.4	1.467	94.4	0.0472	5/22.5	1.395
126.2	0.0631	5/19.8	1.586	114.4	0.0572	5/19.6	1.602	105.4	0.0527	5/20.3	1.548	101.4	0.0507	5/19.3	1.586
141.4	0.0707	5/16.6	1.892	127.4	0.0637	5/16.7	1.880	116.6	0.0583	5/17.2	1.826	108.4	0.0542	5/17.6	1.785
151.4	0.0757	5/14.9	2.103	136.2	0.0681	5/14.7	2.135	130.2	0.0651	5/15.1	2.080	115.6	0.0578	5/15.7	2.000
165.4	0.0827	5/13.1	2.398	147.8	0.0739	5/13.1	2.396	142.8	0.0714	5/12.6	2.492	130.6	0.0653	10/25.6	2.452
180.4	0.0902	5/11.6	2.707	164.4	0.0822	5/11.4	2.754	156.4	0.0782	10/21.9	2.869	143.6	0.0718	10/22.5	2.791
197.8	0.0989	10/20.5	3.064	177.6	0.0888	5/10.4	3.018	166.2	0.0831	10/20.2	3.111	153.4	0.0767	10/20.2	3.110
249.5	0.1247	10/15.6	4.027	196.0	0.0980	10/18.0	3.490	196.2	0.0981	10/15.8	3.978	178.8	0.0894	10/16.4	3.830
224.0	0.1120	10/17.8	3.527	214.2	0.1071	10/15.6	4.027	182.8	0.0914	10/17.8	3.530	194.8	0.0974	10/14.6	4.302
260.6	0.1303	10/14.2	4.423	231.6	0.1158	10/14.8	4.246	215.4	0.1077	10/14.2	4.426	—	—	—	—

別表 第4 (F 號)

稀釋濃度 80%, 室温 15.6°C, 試料温度 30°C, 線條 No. 2

振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)
D_0=1000			
30.8	0.0154	1/41.1	0.153
43.4	0.0217	1/18.6	0.338
59.4	0.0297	2/19.4	0.647
69.8	0.0349	2/14.4	0.872
79.2	0.0396	2/11.4	1.102
88.2	0.0441	5/23.4	1.342
96.8	0.0484	5/19.3	1.586
100.0	0.0500	5/18.6	1.688
109.2	0.0546	5/15.8	1.988
114.4	0.0572	5/14.7	2.137
127.2	0.0636	5/12.2	2.574
138.8	0.0694	10/21.6	2.909
162.2	0.0811	10/17.0	3.696
174.4	0.0872	10/15.4	4.080
186.2	0.0931	10/14.1	4.458
—	—	—	—

稀釋濃度 80%, 室温 15.2°C, 試料温度 35°C, 線條 No. 2

振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)
28.8	0.0144	1/45.6	0.138
37.0	0.0185	1/24.6	0.255
53.8	0.0269	1/11.2	0.560
64.0	0.0320	2/15.6	0.805
76.2	0.0381	2/11.4	1.211
84.6	0.0423	5/23.3	1.348
90.7	0.0453	5/20.5	1.532
95.2	0.0476	5/19.2	1.636
102.4	0.0512	5/16.4	1.915
109.4	0.0547	5/14.4	2.181
118.6	0.0593	5/12.3	2.552
129.6	0.0648	10/21.7	2.896
151.3	0.0756	10/17.1	3.673
164.2	0.0821	10/14.8	4.246
172.4	0.0862	10/14.2	4.423
—	—	—	—

稀釋濃度 60%, 室温 20.1°C, 試料温度 5°C, 線條 No. 2

振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)
17.4	0.0087	1/38.6	0.163
25.8	0.0129	1/18.0	0.349
37.0	0.0185	1/9.7	0.648
44.7	0.0223	2/14.2	0.885
51.8	0.0259	2/11.0	1.142
58.2	0.0291	5/23.2	1.354
65.6	0.0328	5/20.3	1.547
65.8	0.0329	5/2.0	1.570
74.4	0.0372	5/16.6	1.891
80.6	0.0403	5/14.8	2.121
90.6	0.0453	5/12.8	2.452
101.6	0.0508	10/22.4	2.804
109.5	0.0547	10/20.4	3.081
123.2	0.0616	10/18.0	3.492
135.2	0.0676	10/16.2	3.880
148.4	0.0742	10/14.3	4.396

稀釋濃度 60%, 室温 20°C, 試料温度 10.1°C, 線條 No. 2

振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)
15.0	0.0075	1/36.6	0.171
26.3	0.0131	1/13.2	0.475
33.4	0.0177	1/8.4	0.748
41.2	0.0206	2/12.8	0.982
47.6	0.0238	5/23.2	1.246
52.6	0.0263	5/22.2	1.415
56.4	0.0282	5/20.0	1.570
59.2	0.0296	5/18.6	1.688
65.6	0.0328	5/16.2	1.939
69.8	0.0349	5/14.6	2.151
78.8	0.0394	10/25.3	2.482
89.4	0.0447	10/21.4	2.937
94.6	0.0478	10/19.8	3.172
109.6	0.0548	10/16.8	3.740
119.1	0.0595	10/15.6	4.028
127.6	0.0638	10/14.2	4.424

稀釋濃度 60%, 室温 19°C, 試料温度 15.3°C, 線條 No. 2.

振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)
13.0	0.0065	1/32.6	0.193
19.8	0.0099	1/15.8	0.398
27.2	0.0136	2/18.7	0.672
35.2	0.0176	2/13.2	0.952
39.4	0.0197	2/10.8	1.164
44.8	0.0224	5/22.4	1.402
48.7	0.0243	5/20.1	1.563
49.3	0.0246	5/19.8	1.586
54.8	0.0274	5/18.1	1.735
60.7	0.0303	5/14.8	2.121
57.6	0.0288	5/15.8	1.988
69.4	0.0347	5/12.7	2.453
77.0	0.0385	5/11.2	2.804
82.2	0.0411	10/20.2	3.111
91.6	0.0458	10/17.8	3.528
105.8	0.0529	10/15.1	4.160
116.4	0.0582	10/13.7	4.587

稀釋濃度 60%, 室温 20.5°C, 試料温度 20°C, 線條 No. 2

振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)
9.4	0.0047	1/36.2	0.173
15.8	0.0079	1/16.4	0.383
21.4	0.0107	1/10.6	0.592
27.7	0.0138	2/14.8	0.848
33.0	0.0165	2/11.3	1.112
33.1	0.0190	5/22.7	1.383
42.2	0.0211	5/19.7	1.594
43.2	0.0216	5/18.7	1.679
49.5	0.0247	5/15.8	1.983
52.4	0.0262	5/14.8	2.122
57.3	0.2865	5/13.0	2.414
64.0	0.0320	5/11.6	2.707
71.4	0.0357	10/20.0	3.142
77.2	0.0386	10/18.2	3.451
89.8	0.0449	10/15.6	4.028
101.2	0.0506	10/13.6	4.622
—	—	—	—

稀釋濃度 60%, 室温 21°C, 試料温度 25°C, 線條 No. 2

振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)
9.1	0.0045	1/37.2	0.169
16.0	0.0080	1/15.4	0.408
20.8	0.0104	1/10.4	0.604
25.7	0.0128	2/14.4	0.872
31.1	0.0155	2/10.8	1.163
35.1	0.0175	5/13.4	1.406
39.2	0.0196	5/19.4	1.619
40.4	0.0202	5/18.6	1.688
45.2	0.0226	5/16.1	1.951
48.6	0.0243	5/14.6	2.151
52.6	0.0263	5/13.2	2.379
59.2	0.0296	5/11.2	2.803
65.4	0.0327	10/20.0	3.142
72.0	0.0360	10/17.8	3.530
82.4	0.0412	10/15.6	4.028
90.8	0.0454	10/13.8	4.553
—	—	—	—

稀釋濃度 60%, 室温 20.1°C, 試料温度 30°C, 線條 No. 2

振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)
8.0	0.0040	1/36.0	0.174
13.4	0.0067	1/16.4	0.383
18.2	0.0091	1/10.6	0.592
22.6	0.0113	2/15.6	0.805
26.7	0.0133	2/12.0	1.047
30.5	0.0152	2/9.8	1.282
34.6	0.0173	5/20.3	1.547
36.4	0.0182	5/18.6	1.688
40.8	0.0204	5/15.8	1.987
46.4	0.0232	5/13.4	2.343
51.8	0.0259	10/23.5	2.673
59.7	0.0298	10/20.0	3.142
65.8	0.0329	10/17.8	3.530
77.8	0.0389	10/14.8	4.244
86.2	0.0431	10/13.4	4.690
—	—	—	—

稀釋濃度 60%, 室温 18.2°C, 試料温度 35.2°C, 線條 No. 2

振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)
7.6	0.0038	1/38.2	0.164
14.2	0.0071	1/13.8	0.455
19.6	0.0098	1/8.6	0.731
24.2	0.0121	2/12.8	0.981
28.0	0.0140	2/10.0	1.256
31.8	0.0159	5/20.6	1.525
33.0	0.0165	5/19.4	1.618
37.0	0.0185	5/16.7	1.881
40.6	0.0203	5/14.4	2.181
44.2	0.0221	5/13.2	2.379
51.3	0.0256	5/11.0	2.855
55.2	0.0276	10/19.4	3.239
59.8	0.0299	10/17.8	3.531
70.0	0.0350	10/14.4	4.363
77.4	0.0387	10/13.4	4.690

稀釋濃度 40%, 室温 18.1°C, 試料温度 5°C, 線條 No. 2

振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)
4.8	0.0024	1/41.8	0.150
9.2	0.0046	1/17.6	0.357
13.2	0.0066	1/10.8	0.582
17.6	0.0088	2/14.6	0.861
21.8	0.0109	2/11.4	1.102
27.0	0.0135	5/22.0	1.428
29.0	0.0145	5/20.2	1.555
35.0	0.0175	5/16.5	1.903
39.8	0.0199	5/14.2	2.211
45.6	0.0228	5/12.0	2.618
52.4	0.0262	5/10.5	2.991
56.1	0.0280	10/19.4	3.238
66.2	0.0331	10/16.8	3.740
73.4	0.0367	10/14.8	4.245
—	—	—	—

稀釋濃度 40%, 室温 19.8°C, 試料温度 10°C, 線條 No. 2

振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)
4.4	0.0022	1/37.2	0.169
8.8	0.0044	1/15.4	0.408
13.0	0.0065	1/9.4	0.668
17.2	0.0086	2/13.4	0.952
20.8	0.0104	2/10.4	1.208
25.0	0.0125	5/20.7	1.516
29.2	0.0146	5/17.5	1.795
33.1	0.0165	5/14.8	2.121
35.6	0.0178	5/13.6	2.309
41.8	0.0209	5/11.7	2.682
46.6	0.0233	10/20.8	3.020
52.1	0.0260	10/18.6	3.378
58.4	0.0292	10/16.6	3.786
64.2	0.0321	10/14.8	4.245
—	—	—	—

稀釋濃度 40%, 室温 19.3°C, 試料温度 15°C, 線條 No. 2

振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)
4.3	0.0021	1/36.0	0.174
8.0	0.0040	1/16.7	0.376
12.0	0.0060	1/9.9	0.635
16.2	0.0081	2/12.8	0.982
19.2	0.0096	2/10.2	1.232
23.2	0.0116	5/20.5	1.531
25.6	0.0128	5/18.4	1.706
29.6	0.0148	5/15.6	2.012
34.6	0.0173	5/13.2	2.379
38.6	0.0193	5/11.6	2.708
43.2	0.0216	5/10.2	3.079
49.4	0.0247	10/17.4	3.610
56.0	0.0280	10/15.3	4.106
60.6	0.0303	10/14.3	4.392
—	—	—	—

別表 第4 (F 號)

稀釋濃度 40%, 室温 16.9°C, 試料温度 20°C, 線條 No. 2				稀釋濃度 40%, 室温 16.8°C, 試料温度 25°C, 線條 No. 2				稀釋濃度 40%, 室温 16.9°C, 試料温度 30.5°C, 線條 No. 2				稀釋濃度 40%, 室温 16.8°C, 試料温度 35.8°C, 線條 No. 2			
振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)	振れ (mm)	振れ θ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)	振れ (mm)	振れθ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)	振れ (mm)	振れθ (ラヂアン)	回轉數所要時間 秒	回轉速度 (ラヂアン/秒)
D_0=1000															
3.6	0.0018	1/37.4	0.168	2.7	0.0013	1/44.4	0.141	3.2	0.0016	1/29.6	0.212	2.1	0.0010	1/40.4	0.155
7.0	0.0035	1/15.4	0.408	5.7	0.0028	1/16.6	0.378	6.4	0.0032	1/12.4	0.507	5.4	0.0027	1/13.4	0.469
10.8	0.0054	1/9.0	0.698	9.2	0.0046	1/9.2	0.683	9.0	0.0045	2/16.2	0.776	8.8	0.0044	2/14.4	0.873
15.0	0.0075	2/11.9	1.05	12.1	0.0060	2/12.6	0.997	11.8	0.0059	2/11.4	1.102	11.2	0.0056	2/10.7	1.174
18.6	0.0093	5/22.2	1.41	15.0	0.0075	2/10.0	1.256	14.6	0.0073	5/21.8	1.441	14.0	0.0070	5/20.6	1.525
20.4	0.0102	5/19.6	1.60	17.8	0.0089	5/19.8	1.586	16.9	0.0084	5/18.7	1.679	15.0	0.0075	5/18.6	1.689
23.6	0.0118	5/16.4	1.91	19.8	0.0099	5/17.6	1.784	20.0	0.0100	5/15.4	2.040	18.0	0.0090	5/15.0	2.093
27.8	0.0139	5/14.0	2.24	22.9	0.0114	5/15.0	2.091	23.8	0.0119	5/12.7	2.472	20.8	0.0104	5/12.9	2.435
32.4	0.0162	5/11.8	2.65	26.0	0.0130	5/13.2	2.379	28.6	0.0143	5/10.2	3.080	24.7	0.0123	5/10.6	2.963
36.3	0.0181	5/10.2	3.08	31.0	0.0155	10/20.7	3.034	32.2	0.0161	10/18.2	3.451	28.0	0.0140	5/18.8	3.342
39.4	0.0197	10/18.4	3.41	35.2	0.0176	10/18.8	3.342	37.5	0.0187	10/16.0	3.927	32.7	0.0163	5/15.8	3.976
45.8	0.0229	10/16.0	3.93	42.0	0.0210	10/15.6	4.028	42.8	0.0214	10/13.8	4.554	38.2	0.0191	5/13.8	4.554
52.6	0.0263	10/13.8	4.55	46.7	0.0233	10/13.8	4.554	—	—	—	—	—	—	—	—

B 骨材による瀝青乳劑の分解に就て

福島彌六

目次

I 緒言 …… (1)
II 瀝青乳劑の分散粒子の構造と安定度竝に分解に就ての概說 …… (2)
III 骨材による瀝青乳劑の分解試驗及び其考察 …… (4)
IIII 骨材による瀝青乳劑の分解を促進或は遲延せしむる分解試驗及び其考察 …… (16)
V 骨材による瀝青乳劑の分解の素因に就て …… (24)
VI 要約 …… (27)
參考文獻 …… (27)

I 緒言

瀝青乳劑は道路鋪裝用材料として使用されてより日未だ淺く現今の市販瀝青乳劑に就ても未だ發達の道程中に在るもの少からず，又其の性狀に關する研究に就ても漸く其の緒に就きたる程度にして其の組成，粒子の分布竝にその構造及び安定度竝に分解等の重要なる性狀に就て十分に研究されたる處未だ僅に過ぎぬ狀態である．仍て，道路鋪裝用瀝青乳劑の分解は其の安定に關係すべき重要なる性質であるのみならず，道路工事の實際の施工に際しても分解の難易は施工の難易及び鋪裝の安定に關係する處が多い．從つて，瀝青乳劑の分解に就ての試驗竝に考察は單に乳劑の性狀を理解するのみならず又此の智識は實際上の工事施行に際しての問題に就ても必要なる事項であると考慮される．從來，道路鋪裝用瀝青乳劑の分解を試驗すべき方法は種々多樣にして各其の條件を異にして居り，未だ各國に於ても一定の標準方法を設けず數個の暫定的の方法[1], [2]を用ひて居るに過ぎない．かゝる試驗方法は乳劑の性質としての分解性或は實際に施工に際しての骨材に對する分解作用等を各部分的に然も比較的，定性的に試驗するものに過ぎず，從つて一試驗方法のみに依つては其分解性又は分解作用の全體を確める事は困難なる場合が多い．故に試驗すべき條件を異にする各場合に就て此に適應すべき試驗方法を採り，之に依り其場合の分解を試驗し，然して各場合の試驗結果を綜合して然る後其全局を考察すべきものであると考慮されるのである．

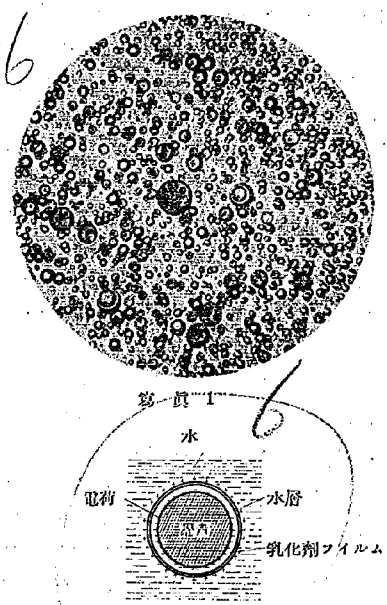
之に就て著者は先づ瀝青乳劑とは如何なる組織を有するものであるか又其の安定 (Stability) と分解 (Breaking) とは如何なる相互關係を有するものであるかを一應說明する爲め其の分散粒子の構造及び其の安定竝に分解に就て膠質化學の方面より之を概說し，次に實際上瀝青乳劑の工事施行に際しての場合を考慮して瀝青乳劑の分解作用を上述の各試驗方法より選びたる適當なる方法に依り實驗室内にて試驗して其結果竝に考察よりして分解に關する各種骨材と瀝青乳劑の關係及び上述の場合に於ける分解作用に就て論及した．次いで，著者は上述の骨材と瀝青乳劑の分解との關係及び瀝青乳劑の膠質化學的性質とを考慮して骨材に豫め或種の鹽類溶液を添加して置く事に依つて之に作用する瀝青乳劑の分解を人爲的に促進或は遲延し得べき事を試驗し同時に此鹽類溶液の種類濃度，分量及び分解の程

度等の關係を考察し更に此方法は實際上或場合の瀝青乳劑の施工に際して其操作を誤たざれば或程度の應用價値を有するものであると考慮した.

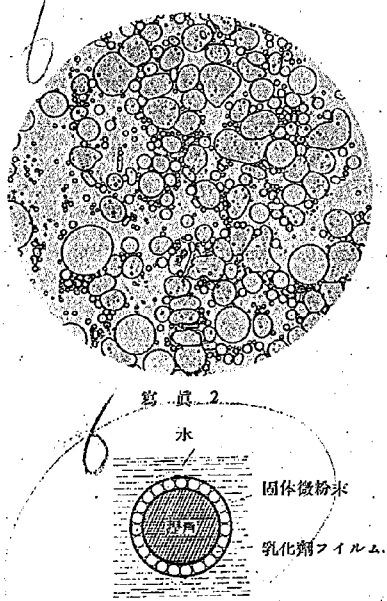
最後に著者は上述の如き瀝青乳劑の分解の場合に於ける主として骨材に對する分解の素因に就て今日斯界の研究者に依つて實驗竝に考察されたる事項を概說し以て此の結尾とした.

II 瀝青乳劑の分散粒子の構造と安定度竝に分解に就ての概說

現今道路鋪裝用瀝青乳劑は加熱熔融せる瀝青物質(アスファルト, コールタール或は其混合物等)を乳化劑(主として各種石鹼類, ロート油類及び其類似物等)を含める乳化溶液と混合攪拌して之を微粒子(0.1 μ～10 μ 程度)[3]に分散せしめたるものにして懸濁液(Suspensoid)或は乳濁液(Emulsion)と稱せられるものである. 然して, 常溫にありて其の分散相が固體なる場合は前者にして, 液體なる場合は後者であるが一般に瀝青乳劑は其の中間に位するものと考慮されるもの多き故に以下一般に之を單に瀝青乳劑(Bituminous Emulsion)なる言葉にて表す事にする. 著者等は斯の如き道路鋪裝用瀝青乳劑の粒子の分布及び組織の一部に就ては前報[3]に於て之を論じたるも今其の粒子構造に就て少しく概說するに, 一般の瀝青乳劑は近來 Donnan 及び Bancroft 氏等に依つて說明されたる水中油の乳劑(Oil in water Emulsion)の構造と同樣に瀝青質は水中に分散しその分散粒子の周圍には乳化劑の吸着に依つて形成されたる所謂吸着フイルムを有するものであると考慮されて居る. 茲に,



第 1 圖 (A)



第 1 圖 (B)

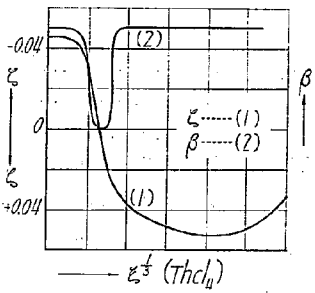
Meunier[4] 及び Wilhelmi[5] 氏等は現今の瀝青乳劑の分散粒子構造に關して第1圖(A)並に(B)の如きものなりと考察した. 卽ち第1圖(A)は水溶性乳化劑の吸着フイルムを有する一般の瀝青乳劑の構造を示したものであり, (B) は或種の懸濁液とも見做し得る特殊の瀝青乳劑の構造を示したものである. 例へば乳化劑としてオレイン酸曹達 (石鹸類の一主成分)

$$CH_3\cdot(CH_2)_7\cdot CH:CH(CH_2)_7\cdot COONa.$$

を用ひたとすれば此れは其の分子の一部に -COONa なる活性原子團を有し水に極めて溶解し易く其の表面張力を著しく減少せしむる性質を有する. 然して此分子は斯の如き表面活性に依つて分散粒子の表面に著しく吸着せられ其の溶液との界面に吸着フイルムを作り粒子を包被して居る. 次に Langmuir 及び Harkins 等の說明に依る分子の定位說 (Molecular Orientation Theory) に依れば, 其の一端の活性原子團 -COONa は親水性にして水中に擴り一方不活性原子團を有する他端 $CH_3\cdot(CH_2)_7\cdots\cdots$ は瀝青質粒子中に入り此處にオレイン酸曹達の分子は一定の配列をなし保護フイルムを形成すると云ふ. 而して前述の Bancroft 氏は其の乳化理論に就て分散媒とフイルム間の界面張力は分散相とフイルムの間の界面張力より著しく少にして粒子の分散を容易ならしめ粒子の衝突の際に毛細管作用を生じ之を反撥しその融着を妨ぐものであると說明して居る. 次に同樣なる界面に於ける電氣的現象に就て考察すれば一般に水中油の乳劑は電氣泳動 (cataphoresis) の現象を現す事は實驗の證明する處である從つて瀝青乳劑に於ても之を表すべく一般に瀝青粒子は (−) に, 分散媒の水は (+) に荷電し卽ち此の間に所謂 Helmholtz. の電氣的二重層 (Electrical double layer) を形成して居ると考察されて居る. 然して此の電氣的二重層は分散媒よりのイオンの選擇的吸着に原因すべく界面に於けるイオンの自然配列に依るものと考慮されて居る. 斯の如き電氣的二重層に依り粒子とイオン層との間に電位差を生ずる此れ前報に報じたる ζ- 電位差である. 然して, 其の電位差は瀝青乳劑に於ては分散媒たる乳化劑の水溶液の解離度卽ち主としてアルカリ性度に相互關係を有して乳劑中に於て或る電氣的平衡を保つて居ると考へられて居る. 換言すれば, ζ- 電位差の大小は分散媒たる水溶液の水素イオン濃度の變化に密接なる關係を有し從つて此の變化に依つて電氣的平衡更に乳劑の安定性が左右される事になる. 乳劑の分散粒子は以上の如き構造を有し其の吸着フイルム並に電氣的二重層に依る電荷の共同作用に依つて粒子と分散媒との間の界面張力を減じ其の球狀を維持し其の乳化狀態を保つ, 又一方 ζ- 電位差を有する粒子の電荷は共同志の間に反撥作用を起さしめ粒子同志の融著を妨ぎ從つて乳劑の凝集を妨ぎ其の安定を保持せしめて居る. 此の ζ- 電位差は油と水との乳劑の場には 0.05 V が普通であると考へられ, 0.1 V 位になれば非常に高い方である. 然して或範圍に於て $|\zeta|$ の最大なる時は乳劑は最も安定であると考へられて居る.

次に斯の如き粒子構造を有する乳劑の安定度の破壞卽ち分解に就て少しく論ずれば, 一般に分解は其速度の遲速こそあれ分散瀝青質粒子の凝集 (Coagulation) より出發するものである. 然して此の現象は主として乳劑が分散媒より水分及び乳化劑を失ふか或は特殊の試藥を添加され乳化劑並に上述の吸着フイルムが化學的に破壞されるか, 或は電解質の添加に依るイオンの導入に依つて上述の電氣的平衡が破壞される如き場合に其の凝集が起り安定性を著しく失ふものである. 此の凝集に關する膠質化學的研究に依ると, 一般に粒子の周圍の電氣的二重層の內側に負 (−) の電荷を有する陰性ゾル (例へば水中油の乳劑或は瀝青乳劑は之に屬すと考へられて居る) はカチオン (例 Fe^{+++}, Ca^{++}, H^+…等)

に依つて主として凝集が起され又反對に正（＋）の電荷を有する陽性ゾル（例へば或る銅 CuO ゾル）はアニオン（例, SO_4^{--}, Cl^-, OH^-・・・・等）に依るものである事が既實知られて居る．更に此の膠質化學的機構に關しては Ellis & Powis 氏等に依る實驗がある．氏は油と水より或乳濁液を作り之に電解質の鹽化トリウム $Th^{++++}Cl_4$ を加へ其乳濁度（β）を測定し又同時に油滴粒表面の電氣的二重層の ζ-電位差を測り第2圖の如き關係を得た．



第 2 圖

此場合に乳濁度は大體に於て凝集度と逆比例するものである．圖により明なる如く $|\zeta| \leqq 0.04$ の時に $\beta \fallingdotseq 0$ となり，それ以外の場合は大體一定の正値を有する，卽ち電解質を添加して $\zeta = -0.04$ V に達する時に急に凝集を起し乳濁度は減少し遂に $+0.04$ V になれば再び乳濁化するに至る．此に依り一般に $|\zeta|$ が或値以下の場合に凝集が起る事が明にされた．氏は又凝集劑として種々の電解質 K^+Cl, $Ba^{++}Cl_2$, $Al^{+++}Cl_3$ 等を用ひた時も同樣なる結果を得て居る．

瀝靑乳劑に就ても此現象に就て種々觀察されて居る．卽ち後章に述べる如く L. C. McKesson 及び J. Myer 氏[6]は電解質なる鹽化石灰 $CaCl_2$ を凝集劑に用ひ又 A. W. Hixson & J. M. Fain 兩氏[7]は硫酸第一鐵（$FeSO_4$）を用ひ種々の瀝靑乳劑を分解し其安定度を比較し或は H. Walther[8]氏は乳劑に碎石を混じ其分解はアルカリ性度殊に水素イオン濃度の變化の關係ありと述べて居る．

乳劑が上述の原因により徐々に凝集を起す狀態を顯微鏡下にて觀察すると，初め乳劑が極めて新鮮なる時は粒子の大部分は盛にブラウン運動をなし其電荷に依つて互に反撥し合つて居るが，一旦凝集が始りたる後はブラウン運動には變化はないが各粒子の反撥力は非常に衰へ相近づいた粒子は融着して再び離れず其の大さは漸次大きくなるを見る．寫眞第1は極めて新鮮なる乳劑を示し，寫眞第2は同一乳劑にして凝集が多少始りたるを示したものである．此の現象は又單に外觀的に見るも，乳劑は其の凝集に依つて其の分散粒子散の減少に從ひ不均等になり著しきに至れば數個固りて沈降し下部に沈澱し乳劑は上下二層に別れる，或は其粘性に變調を表し，或は其外觀に變化を與へ一般に均等にして一樣なる色調を失ひ不均等にして著しく嘗濁になる或は後章に述べる如き鹽化石灰の如き凝集劑（或は分解劑）を添加して凝集量を測る時はその量は著しく大である．斯の如きは主として第1圖 (A) の如き通常の瀝靑乳劑の分解過程であるが前述の Wilhelmi 氏に依ると特殊なる者に第1圖 (B) の如き者も存在すと云ふ．此は其の Pickering 氏の發見に依りピツケリング氏乳劑 (Pickering Emulsion) と稱せらるゝ者にして乳化劑として不溶性固體微粉末（例，粘土，ベントナイト類）のみを用ひ其の粒子は此等微粉末の吸着フイルムに依つて包被され（－）に荷電し非常に安定なる一種の懸濁液をなすものであると云ふ．

III 骨材による瀝靑乳劑の分解試驗及び其考案

〔1〕 **骨材被覆試驗 (Stone coating test)**[9]

（主として大氣の影響に依つて分解する場合）

此は骨材に瀝青乳劑を撒布滲透或は混合する場合或は施工後鋪裝の表面に於て主に大氣の溫度及び濕度の影響に依つて分解を生じ骨材の表面に膠着性の瀝青質被膜を形成するに至る過程を時間に依つて測り，尙分解が完結したる後其の形成せる被膜の良否を定性的に試驗するものである．國産市販瀝青乳劑の代表的なるものA種（撒布滲透法用）竝に，B種（混合法用）乳劑に就て試驗した結果は第1表（A）及び（B）竝に第3圖である．

第1表(A) A 種 乳 劑

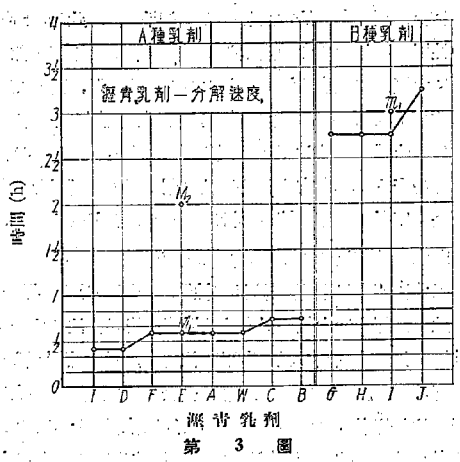
乳劑 / 分解時間	F	E	C	I	A	B	D	W	A種乳劑平均値
a) 分解速度 20°C,(分)	40～30 35	40～30 35	45～40 43	30～20 25	40～30 35	40～30 43	30～20 25	30～40 35	ca 35
b) 分離被膜 15°C	優	優	良	不良	良	良	優	良	

第1表(B) B 種 乳 劑

乳劑 / 分解時間	G	H	I	J	B種乳劑平均値
a) 分解速度 20°C (時)	2½～3.0 2¾	2½～3.0 2¾	2½～3.0 2¾	3.0～3½ 3¼	ca 3.0
b) 分離被膜 15°C	良	良	優	良	良

A種乳劑に於ては，約20～45分（平均35分 M_1）以内にて骨材の表面に瀝青被膜を形成し分解は完結する如く見ゆるも分離被膜の中には未だ多量の水分を包含し一種の瀝青中水の型なる乳劑（Water in Bitumen Emulsion）をなし其被膜は未だ十分なる膠着力を表さない．此れを約2時間（M_2）大氣中に放置すれば，その間に被膜中の含有水分は蒸發して被膜は固り十分に其の膠着力を表す．

然る後，之を15°Cの清水中に入れ靜かに3分間攪拌洗滌するも被膜の剝脫を起すこと著しくない．卽ち斯の如き場合にてはA種乳劑は少くとも2時間以内に於て分解が完結するものと考へ得るのである．B種乳劑に於ては，被膜形成には約2～4時間（平均3時間 m_1）内外を要するものであるが，分解が完結し十分なる膠着力を表すには乳劑の種類に依り一定せず且つ其差が甚だしく少くとも5～10時間の程度を要するものと推測せられる．



第 3 圖

此の試驗は其性質上，大氣の溫度と濕度とを豫め一定にして置く必要がある故に，此の分解試驗は

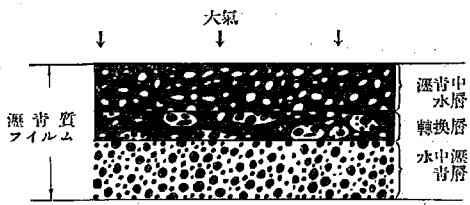
氣溫 15～20°C; 濕度 50～60% にして晴天なる日屋内に於て行ひ，A 種乳劑に對して徑 6～12 mm の硬質石灰岩碎石，B 種乳劑に對しては，徑 6～9 mm の同上碎石屑を使用した.

一般に斯の如き場合に於て乳劑が分解する過程竝に其膠着力とに就て考察すれば次の如くである.

1. 乳劑は其水分の蒸發により分解する時には相の轉換を行ふ.

卽ち水中瀝靑型乳劑 ⟶ 轉換 ⟶ 瀝靑中水型乳劑 ⟶ 瀝靑質被膜

2. 從つて被膜は形成の初期には均一にして無水なるものでなく大體第 4 圖の如き觀を呈し不均等にして外觀的には分解は完成せる如く見ゆるも尙 20～25% 內外の水分を含有せるものと考へられてゐる. 斯の如く水中瀝靑の型にて分散したる水分は簡單に蒸發され難く從つて完全なる被膜形成に相當の時間を要し，又この場合にも其の被膜の厚さが相當に影響を及ぼす. 從つて使用すべき乳劑の粘性がこれに關係するものである.



第　4　圖

3. L. Meunier 氏[4]は良く磨きたる面上に乳劑 3 滴をピユレットより滴下し，其上に磨ける眞鍮板 (徑 4 cm) を載せ一定時間の後に之を引上げるに要する荷重を測定して之れを膠着力とし，瀝靑乳劑に就て其膠着力と時間との關係を求めた. この結果，一般に分解時間の增加に從ひ膠着力の增加を相關的數値に依つて表して居る. 卽ちこれより分解時間と膠着力とは重要なる量的關係のある事が明にされた. 更に實際的方面よりこれを觀るに，此分解時間を短縮する爲めには使用すべき乳劑及び骨材の性質に關係するは勿論であるが，表面處理施工の如く表面に於ける分解の速きを特に必要とする時には大氣の溫度高く濕度の小なるを必要とし，而して一般に夏期は速く冬期は遲い事になる. 又場合に依りては後に述べる如くに或る分解促進劑を用ひ人爲的に分解時間を短縮する事も考へられる.

4. 分解の完結せざる內に降雨等に遭遇したる時は上記より明なる如く瀝靑被膜は未だ十分なる膠着力を表さず其含有水分及び乳化劑の爲めに再乳化を起し瀝靑被膜は剝脫する. この場合には前述とは全く反對なる相の轉換が行はれるものと考へられる.

〔2〕 洗滌法 (Washing test)[9]

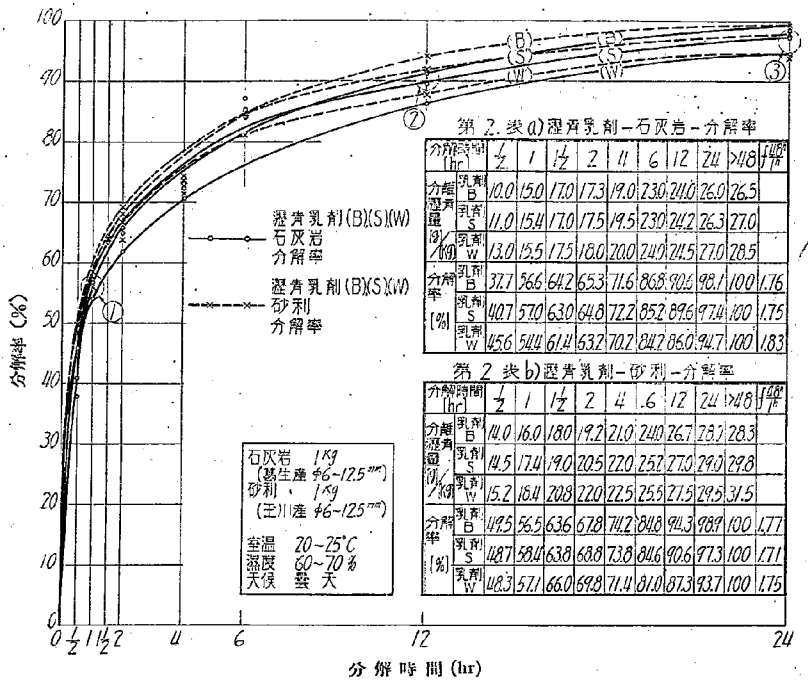
(大氣の影響と同時に骨材の性質の影響を受ける場合).

此の一部分は大氣の溫度及び濕度の影響に依る水分の蒸發に依り同時に他の部分は骨材の形狀竝に性質に依る濾過及び吸着作用に依つて，瀝靑乳劑が分解する場合にして，實際の施工に際して路面上の混合或は施工後鋪裝の上層部に於ける分解過程を考慮したものである. 此方法は C. L. McKesson[6] 氏に依り提唱されたる方法にして氏は砂利 (ϕ: 6～12.5 mm) 1 kg を使用して居るが著者は之を少しく變へ砂利の他に簡易鋪裝に最も數々使用される同じ粒度の石灰岩を用ひ，次の方法で各時間の經過に依り其の分解の程度を試驗した. 然して之に使用し得る乳劑は前述の如き代表的なる市販瀝靑乳劑の中 A 種乳劑 (撒布滲透法用) に就て之を行つたのである.

豫め，碎石 (ϕ: 6～12.5 mm) 1 kg を秤量し之を過剩量の乳劑と十分に混合し次に洗滌法にて用ふると同樣なる正方形の二個の金網籠に入れ餘分の乳劑を滴らし之を溫度と濕度とが略一定せる室に一

定時間夫々分解を行はしめ，後其の內の一個を之を完全に水洗し未分解の部分を除去し更に乾燥し石材1kg上に分離膠着したる瀝青質の量を測る．然して，他の一個は之を靜止しその分解を十分に完結し而る後その分離瀝青を秤量して此時の分離瀝青質量を100として之に對する各時間後の分離瀝青質量の百分率を求め，之を分解率と名附たのである．

此の試驗は乳劑及び石材の溫度 25°C；室溫 20～25°C；水溫 20°C；濕度 60～70% なる條件に於て實驗室內にて行つたものである．斯の如き試驗に依り得たる分解率—分解時間の關係は第2表 (a), (b) 及び第5圖にて表示した．



第2表 a) 瀝青乳劑—石灰岩—分解率

分解時間 [hr]		1/2	1	1½	2	4	6	12	24	>48	48/24
分離瀝青量 [g/kg]	乳劑 B	10.0	15.0	17.0	17.3	19.0	23.0	24.0	26.0	26.5	
	乳劑 S	11.0	15.4	17.0	17.5	19.5	23.0	24.2	26.3	27.0	
	乳劑 W	13.0	15.5	17.5	18.0	20.0	24.0	24.5	27.0	28.5	
分解率 [%]	乳劑 B	37.7	56.6	64.2	65.3	71.6	86.8	90.6	98.1	100	1.76
	乳劑 S	40.7	57.0	63.0	64.8	72.2	85.2	89.6	97.4	100	1.75
	乳劑 W	45.6	54.4	61.4	63.2	70.1	84.2	86.0	94.7	100	1.83

第2表 b) 瀝青乳劑—砂利—分解率

分解時間 [hr]		1/2	1	1½	2	4	6	12	24	>48	48/24
分離瀝青量 [g/kg]	乳劑 B	14.0	16.0	18.0	19.2	21.0	24.0	26.7	28.1	28.3	
	乳劑 S	14.5	17.4	19.0	20.5	22.0	25.2	27.0	29.0	29.8	
	乳劑 W	15.2	18.4	20.8	22.0	22.5	25.5	27.5	29.5	31.5	
分解率 [%]	乳劑 B	49.5	56.5	63.6	67.8	74.2	84.8	94.3	98.9	100	1.77
	乳劑 S	48.7	58.4	63.8	68.8	73.8	84.6	90.6	97.3	100	1.71
	乳劑 W	48.3	57.1	66.0	69.8	71.4	81.0	87.3	93.7	100	1.75

第　5　圖

一般に，上記の試驗に依り得たる結果竝に其れに就ての考察事項を括むれば次の如くである．

1.　時間の經過により分解率は略雙曲線狀の增加を示し，石灰岩と砂岩とによる石材の種類に關しての變化は少であるが然し此の實驗に於ては比較的其の表面が附着物に覆れ不純なる砂利の方が分解性が強き傾向を表して居る．一方各乳劑もその分解性に關して相互に略一樣なる傾向を示して居る．

次に，斯の如き各種の道路舗裝用骨材に對する瀝青乳劑の分解性の變化に就ての考察は後に詳論する事として各乳劑が略一樣なる分解性を有するのは規格を設けその品質を揃へたる結果に基くものと考へらる．

2. 今之等の諸曲線を一括して考へ，之を ①，②，③ 部の三部分に區分して見るに，分解の初期なる ⓪～① 部分解曲線は殆んど直線狀に上昇し分解が極めて盛にして1時間にして略其の半（分解率約：55%）の分解を完結する事を認め得るのである．次に，分解の中期なる ①～② 部分に於ては分解曲線は稍傾斜して分解は少許緩徐になるも，然し12時間後には分解は其の大部分（約 90%）を完結するを認め得るのである．

更に分解の終期なる ②～③ 部分は其曲線の傾斜は一層に緩にして分解は極めて緩徐に行はれ 24 時間後にはじめて完結（約 >95%）する事を知るのである．

3. 分解の時間と其の分解率との關係に就て其 48 時間後及び1時間後の比 $f\frac{48h}{1h}$ を見るに，

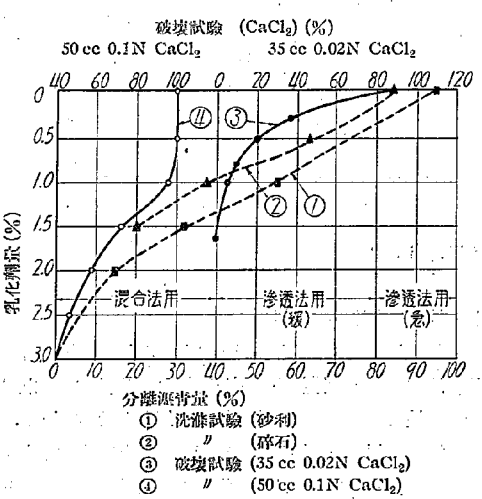
石灰岩の場合；　$f\frac{48h}{1h}=1.75\sim1.83$ (平均 ca 1.8)

砂利の場合；　$f\frac{48h}{1h}=1.71\sim1.77$ (平均 ca 1.8)

即ち，時間の割合に比し分解程度の割合は非常に小である．從つて全局より此を見るも最初の1時間は分解最も活盛にして此の爲め特に注意を要する重要なる時期であると考慮される．

4. 次に此の試驗に依り觀察し得たる處のものは，或る鋪裝の如く瀝青乳劑と骨材との混合物よりなり立體的の層を形づくるものはその表面大氣に直接に接觸せる一部分は最初敏速に分解を始め分離瀝青質被膜を形成して其表面を被覆し大氣と内部との接觸を遮斷するに至る．若し分解を短時間に止める時には，其表面は分解完結せるも内部は依然未分解の狀態なる如き場合なきも保し難き事である．

實際或る鋪裝の施工に際して，鋪裝の表面は完全に分解されたるも其内部は依然未分解の狀態であり之が爲め降雨に際して流出し又夏期其の水分が蒸發して其表面に氣孔を數多生ずる等の現象を起すのは内部に於ける分解の不完全に原因すると考へられ之は上述より容易に推察される．



第　6　圖

5. 鋪裝の如く骨材と乳劑との混合物の立體的なる層をなせる如き者の場合には内部に於ける分解の完成を俟つべきものにして從つて後述の如き大氣の影響を全く遮斷したる場合に於ける骨材と乳劑との分解關係を知る必要がある．

最後に，C. L. McKesson 氏[10]は瀝青乳劑の乳化劑の量を種々に變じ，洗滌法に依り分解時間 $\frac{1}{2}$ 時；温度 25°C；濕度 Ca 50%；洗滌には水速 4.5 l/min なる $\frac{1}{4}''$ ホースを用ふる等の條件にて分解試驗を行ひ其乳化劑合有量及び分離瀝青量の關係を試驗した．第6圖はこの結果を示し

たるものである．之に依り氏は　　1/2時後の分離瀝青質量(%)．

分解の急速なるもの（滲透用乳劑）; 80～100

分解の緩かなるもの（混合用乳劑）; 2～40

なる區別をなして居る．

〔3〕 浸漬法（分解値 Z.W. 測定法）[11]

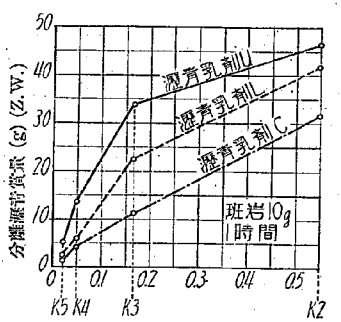
（骨材の性質に依る影響にのみ依つて分解する場合）．

此は上述の場合とは異り，大氣に依る影響を全く遮斷した場合に，瀝青乳劑が骨材の性質に依る影響に依り之と反應して分解する場合を試驗するものである．

從つて此場合には上述の場合とは少しく異りて主として鋪裝の內部に於けるが如く各種の骨材による濾過作用及び其の性質による接觸界面に於ける吸着作用及び化學反應等が非常に影響を及ぼすものである．然して此方法は H. Weber[11] 氏等の提案したものにして其の大要は豫め洗滌及び乾燥した一定粒度（φ: DIN K3 0.6～2 mm）の碎石一定量（10.0 g）に乳劑の一定量（50 cc）を混合し之を豫め水蒸氣にて飽和したる室の內にて水分の蒸發に依る分解を全く妨ぎつゝ1時間作用させ，後其の混合物を洗滌竝に乾燥して秤量し，此の場合に於ける分離瀝青質量を求める．次に，此を碎石 100 g の場合に換算して之を分解値 Zerfall Wert (Z. W.) として表すものである．此方法は又，骨材の種類及び其形狀，粒度等の物理性を種々に變へ，道路鋪裝用各種骨材（例へば石灰石，硬砂岩，花崗岩，玄武岩，班岩，砂或は各種の鑛滓等）の各種瀝青乳劑に對する分解性を比較し得る特徵を有するものである．

（1） 浸漬法に依る骨材に對する瀝青乳劑の分解値（Z. W.）に就て　先づ，此の試驗結果を述べる前に上記の各種骨材の諸性質が乳劑の分解に對して如何なる影響を與へるかに就て，H. Weber 氏等による說明を略記すれば次の通りである．

1) **骨材の粒度（表面積）の大小による影響**　之は一定量（10.0 g）の骨材（班岩）の種々の粒度（DIN. K 5, K 4, K 3, K 2; φ: 7～12 mm, 2～7 mm, 0.6～2 mm, 0.2～0.6 mm）の變化（表面積の變化）と各種瀝青乳劑の分解値（Z. W.）との關係を示したものである．第 3 表第 4 圖此の結果に



第 7 圖

第 3 表

粒度 (DIN)	粒度直徑 (φ) mm	全表面積 m² (100g 骨材)	全表面積增加率	分離瀝青質量 (g)/100 g 骨材 (Z.W.)					
				瀝青乳劑 U	分離瀝青量增加率	瀝青乳劑 L	分離瀝青量增加率	瀝青乳劑 C	分離瀝青量增加率
K 5	7～12	0.015	3.4	4.8	2.8	1.8	3.2	1.5	2.9
K 4	2～7	0.051	3.4	13.2	2.6	5.7	4.0	4.3	3.6
K 3	0.6～2	0.175	3.14	34.1	1.3	22.6	1.8	15.6	2.0
K 2	0.2～0.6	0.55		45.5		41.7		30.5	

依れば，其分離瀝青量は一定量の骨材に就て其の全表面積の大小に直接關係し其增加に從つて增す，即ち一般に粒度が少になれば全表面積は增大する故に其分解性は一層顯著になるのである．此事實よりして，分解の主原因は其の接觸界面に於ける界面反應に依ると云ふ事を考察し得るのである．次に此程度の比較試驗には粒度 K 3 (ϕ: 2.0～0.6 mm) の者が最も適當であると云ふ．

2) **骨材の石面の清淨度及び新鮮度による影響.** 骨材の表面は一般に，塵，石粉，及び無機鹽類等の不純物で覆れ，又鋪裝用骨材の如く碎石として長期間放置されたる者は其表面が風化され或は多少變質されて居る場合が多い．第4表及第5表は斯の如き變化が分解作用に如何に關係するかを風化變質せざる者と比較試驗した者である．

第 4 表

瀝青乳劑	骨材	分離瀝青質量 (Z.W.)	
		洗滌す	洗滌せず
L 31/121	班岩	25.8	27.7
U	石灰岩	20.0	23.0
L 610 B	石灰岩	4.3	18.3
同上	硬砂岩	14.7	17.5
同上	閃長岩	4.9	8.2
同上	玄武岩	16.2	19.8
W623	玄武岩	0.2	0.4

この結果によると，表面が清淨ならず不純にして且つ風化を受けたる者は然らざるものに比して一般に分解性の强き事を示して居る．斯の如き單に骨材の表面の清淨度及び風化に依る變質が分解に相當影響する事は實際の施工に際し骨材の處理上注意すべき事項なりと考慮される．

第 5 表

粒度 (ϕ) 0.6～2 mm	綠岩					班岩			玄武岩			
	瀝青乳劑					瀝青乳劑			瀝青乳劑			
(Z.W.)	D	V	M	L	U	L	A	U	W	L	U	M
風化せるもの	14.3	20.0	30.3	11.7	13.0	26.0	19.0	17.2	0.2	7.7	8.7	2.7
風化せざるもの	8.2	12.0	22.5	6.5	5.0	24.8	17.9	11.8	0.0	1.3	6.8	0.0

3) **分解時間の影響.** 各種の骨材に於て其の分解に關係すべき分解時間の影響は第6表 1), 2) 及び第7表に示した．

第 6 表 1)

瀝青乳劑 U		班岩	綠岩	石灰岩 (1)	高爐鑛滓	玄武岩	閃長岩	石灰岩 (2)
分解時間 (hr)	1	5.8	1.3	4.1	0.8	0.5	0.9	0.5
	3	6.6	2.4	5.1	0.9	0.5	1.4	0.6
	6	14.1	2.6	11.6	0.9	0.4	2.1	0.4
	15	22.0	4.6	14.3	1.0	0.5	3.5	0.5
	24	24.0	5.8	20.4	1.2	0.5	4.1	0.6
	48	42.8	6.7	21.1	3.0	0.5	6.8	0.5
	$f\frac{48}{1}$	7.4	5.2	5.2	3.0	1	7.5	1

第 6 表 2)

瀝青乳劑 A		班岩	綠岩	石灰岩(1)	高爐鑛滓	玄武岩	閃長岩	石灰岩(2)
分解時間(hr)	1	1.9	0.8	0.5	0.6	0.3	0.9	0.3
	3	2.9	0.7	0.7	0.8	0.3	0.9	0.4
	6	4.0	0.9	0.6	0.6	0.2	0.8	0.4
	15	7.0	1.8	1.0	1.1	0.5	1.2	0.4
	24	7.8	1.8	0.8	1.4	0.5	0.8	0.2
	48	11.8	1.1	0.8	1.8	0.3	1.1	0.5
	$f\frac{48}{1}$	6.2	1	1	3	1	1	1

第6表は1～24時間の經過に於ける各種の骨材に對する分解値を示し，第7表は道路鋪裝用骨材として最も普通に使用される石灰岩に對する 1～4 時間の經過に於ける分解値を表したものである．H. Weber 氏は此れらの結果よりして，一般に骨材にして瀝青乳劑と接觸混合後短時間にして既に著しく分解を起したるものは時間の經過に從ひ分解作用は進行するも之に反し，初めに既に分解傾向を表さざるものは分解に長く時間を費すも分解は促進される程度は少く，殊に上記の石灰岩は後の場合に屬するものと述べて居る．

第 7 表

瀝青乳劑 \ 分解期間(hr)	1	4	$f\frac{4}{1}$
H	2.5	3.8	1.52
U	23.5	34.8	1.48
L	3.7	5.6	1.52
K	10.2	15.0	1.47
D	21.2	26.5	1.25
C a)	5.8	5.3	0.915
b)	4.7	4.3	0.915
W	25.0	25.0	1.0

(2) 道路鋪裝用各種の骨材に對する瀝青乳劑の分解値 (Z.W.) の測定.

上述の如く此方法に依る分解値の測定は水分の蒸發を全く絶ちたる場合瀝青乳劑が骨材に對して其の種類及び性質に關係して分解する程度を表すものにして實際の施工に際して撒布による骨材間の滲透或は混合展布に於て主として鋪裝の內部の分解の狀態を考慮したものであり又同時に骨材及び乳劑相互の分解の性能を比較し得るものである．然して又此の方法は前述の骨材被覆試驗及び洗滌試驗に比して相當の精確度（實驗誤差範圍 ±1.0～±2.5%）を有するものにして前者に依つて區別し得ざる程度のものも此方法に依つて明に區別し得る場合が多い．

1) 試料瀝靑乳劑

國產市販品の代表的なるアスファルト乳劑4種類(7個)を選び之を使用した．其の一般性狀の試驗の結果は第8表に示した．

第 8 表

瀝青乳劑	比重 25°C	比粘度 25°C	瀝青質含有量 (%)	同 CCl_4 可溶成分 (%)	同針度 25°C, 100g, 5sec	同延性 15°C, 5 cm/min	低温安定度 -5°C, 3h	貯藏安定度 7日(%)	分解速度(分)
N 種	1.010～1.005	2.0～4.0	51.0～52.0	ca>99.0	80～100	>100	不安定	1.0～3.0	20～30
S 種	1.010～1.005	2.0～4.0	51.0～52.0	ca>99.0	100～120	>100	不安定	1.0～3.0	20～30
B 種	1.010～1.005	2.0～4.0	51.0～52.0	ca>99.0	130～150	>100	安定	1.0～3.0	30～40
W種	1.010～1.005	3.0～5.0	52.0～53.0	ca>99.0	150～180	>100	安定	1.0～3.0	40～60

尙タール乳劑は歐洲諸國（主に英，獨）にては數年前より既に製造され道路鋪裝工事は勿論此方面の研究にも相當に用ひられて居るが我國に於ては未だ此方面の發達が極めて遲く適當なる者が無き爲めに之を省いた．この理由はタールはアスファルトに比して一般に比重が大にして重く又其の組成は複雜にして遊離炭素の如き非瀝靑性分或はタール酸の如き酸性性分を含有する爲め其製造上の困難にも依るものと考慮される．

2) 試料骨材．　本邦に於て道路鋪裝用特に簡易鋪裝用として最も多く使用される石灰岩を 6 種，安山岩 1 種，硬砂岩 2 種及び花崗岩 3 種，總計 12 種を選び之を使用した．又此等と比較する爲めに硬質安全硝子（セキウリット）を 1 種用ひた．

此等各種骨材の產地竝に其の性質の一部分は第 9 表 a), b) に表示した．內 a) は著者に依るものにして，b) は H. Weber 氏に依るものである．

第 9 表　a)

骨材番號	種類	產地	比重	吸水率 (%)	本邦產道路用骨材の平均比重	同上吸水率 (%)
1. Ad 1	安山岩*	群馬•碓井	2.33	3.1	2.56	2.20
2. Sd 1(2)	硬砂岩	福岡	2.76	0.1	2.70	0.70
3. Kl 1	石灰岩	栃木•葛生	2.70	0.4		
4. Kl 2	石灰岩	栃木•葛生	2.73	0.5		
5. Kl 3	石灰岩	福岡•田川	2.72	0.1	2.71	0.5
6. Kl 4	石灰岩	大分	2.71	0.1		
7. Kl 5	石灰岩	岐阜•赤坂	2.62	0.3		
8. Kl 6	大理石	—	2.70	0.3		
9. G 1	花崗岩	茨城•羅原	2.62	0.5		
10. G 2	花崗岩	山梨•神金村	2.64	0.6	2.64	0.5
11. G 3	花崗岩	山梨•神金村	2.62	0.4		
12. Sc	セキウリット	—	—	—	—	—

尙上記の如き天然石の他に歐洲（主に獨）に於ては人造石（主に鉛，鐵，銅の鑛滓）も鋪裝用骨材として用ひられる樣であるが此試驗をするに當り適當なものを得なかつたので之を省いた．

斯の如き試料を用ひ浸漬法により分解を試驗した各種骨材ー瀝靑乳劑の分解値（Z.W.）の關係は第 10 表 a), 及び第 8 圖 a) に之を表示した．又多數の骨材と瀝靑乳劑とを用ひ H. Weber 氏等に依つて同樣に試驗された結果を比較參考の爲めに第 10 表 b), c) 及び第 8 圖 b) に之を揭載した．然てし此の內 a) 及び b) はアスファルト乳劑を用ひたる場合にして，c) は H. Weber 氏に依るタール乳劑を使用したる場合である．

第 9 表　b)

骨材番號	種類	產地	空隙率 (%) Vol.	骨材番號	種類	產地	空隙率 (%) Vol.
1.	班岩	Kahlbusch bei Dohna/Sa	4.6	9.	石英班岩	Lüptitz bei Wurzen/Sa	0.7
2.	高爐鑛滓	Ilseder	6.6	10.	玄武岩	Geising/Erzgebirge/Sa	1.3
3.	綠岩	Seydewitztal bei Pirna/Sa	1.7	11.	硬砂岩	Senften berg/Niederlansitz	—
4.	石灰岩(1)	Beilngries	4.1	12.	花崗岩	Demitz Thumitz/Ober-lansetz	1.2
5.	閃長岩	Plauenschen Grund bei Dresden	1.8	13.	石班岩(2)	Herrlingen	1.5
6.	高爐鑛滓	Essen	—	14.	銅鑛滓	Essen	1.1
7.	山砂	Trachenberge bei Dresden	—	15.	鉛鑛滓	Essen	—
8.	シンソオリス（爐鑛滓）	I.G. Farbenindustrie	—	16.	石英砂	Freienwald a. d. Oder	—

* 輝石安山岩にして著しく風化せるものであつた．

第 10 表 a)

アスファルト乳劑	平均分解値 Z.W$_M$		1. 安山岩 Ad 1	2. 硬砂岩 Sd 1	2'. 硬砂岩 Sd 2	3. 石灰岩 Kl 1	4. 石灰岩 Kl 2	5. 石灰岩 Kl 3	6. 石灰岩 Kl 4	7. 石灰岩 Kl 5	8. 大理石 Kl 6	9. 花崗岩 G 1	10. 花崗岩 G 2	11. 花崗岩 G 3	12. 硬硝子（セキエリシト）
		骨材	**32.1**	**18.8**		**7.2**						**4.7**			**1.6**
			32.1	20.3	17.2	12.0	7.9	7.1	6.5	5.6	4.3	5.1	4.8	4.2	1.6
W_1	12.7	13.1	34.0	24.1	23.0	15.0	10.5	9.0	11.2	7.0	5.7	10.5	10.0	6.1	3.7
W_2		12.3	33.3	22.1	20.0	12.1	10.8	9.1	9.3	6.7	5.9	10.3	10.3	6.3	3.2
S_1	9.6	11.6	22.6	26.5	16.5	15.2	16.0	14.9	9.2	9.5	7.8	4.5	2.8	5.8	0.0
S_2		8.9	28.9	20.5	20.0	11.3	6.6	6.5	5.4	4.1	3.4	2.4	2.0	3.3	1.8
N	8.2	8.2	27.1	20.9	18.0	7.0	5.6	5.4	3.4	2.2	2.8	4.0	6.0	2.5	2.1
B_1	7.6	8.8	42.0	15.5	12.0	12.7	3.5	3.7	5.4	7.1	3.2	4.2	1.9	3.1	0.5
B_2		6.4	36.8	12.4	11.0	11.0	2.3	1.0	1.7	2.5	1.0	0.1	0.3	2.5	0.0

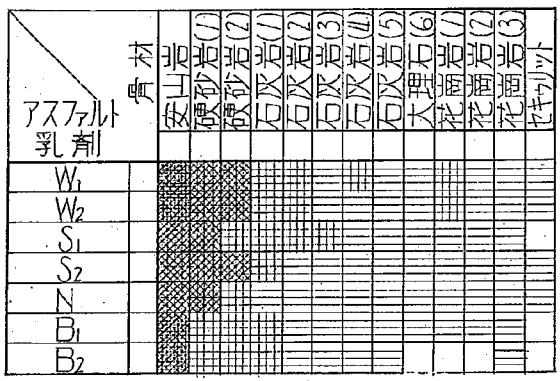
第 10 表 b)

骨材		1. 斑岩	2. 高爐鑛滓 II	3. 綠岩	4. 石灰岩 (1)	5. 閃長岩	6. 高爐鑛滓 Es	7. 山砂	8. シンソホリス	9. 石英岩	10. 玄武岩	11. 硬砂岩	12. 花崗岩	13. 石灰岩 (2)	14. 銅鑛滓	15. 鉛鑛滓	16. 石英砂
アスファアルト乳劑	Z.W$_M$	**25.0**	**13.6**	**12.0**	**11.7**	**10.4**	**7.1**	**5.8**	**4.6**	**4.0**	**3.1**	**2.3**	**1.1**	**0.8**	**0.6**	**0.2**	**0.1**
1. M	**19.2**	43.5	44.4	26.9	24.7	30.6	14.2	9.1	18.7	13.4	3.3	0.7	3.5	1.8	2.6	0.5	0.0
2. B	**17.5**	27.2	26.4	18.5	26.0	—	20.0	—	—	—	12.0	—	—	—	1.0	0.0	—
3. W	**17.2**	31.7	20.9	19.5	31.5	12.3	18.4	4.8	5.9	1.6	1.5	0.1	0.4	0.4	0.7	0.0	0.0
4. E	**16.1**	41.7	—	27.9	15.9	—	9.1	—	—	—	1.9	—	—	—	0.1	—	—
5. S	**16.0**	33.8	6.8	15.5	27.9	—	8.7	7.7	—	—	8.5	—	—	—	1.5	0.4	—
6. V	**15.2**	43.2	—	20.0	10.8	—	7.0	—	10.0	12.1	10.2	—	0.9	1.0	0.1	—	—
7. U	**13.4**	28.2	9.8	14.2	19.7	7.4	10.8	9.4	11.8	6.5	6.6	8.8	0.7	2.2	0.5	0.2	0.5
8. T	**13.2**	47.9	28.7	24.3	4.5	34.0	1.2	5.2	3.0	7.3	0.9	0.2	2.9	0.0	0.6	0.2	0.2
9. D	**13.1**	32.0	11.2	13.5	23.5	11.5	4.7	16.4	7.5	5.2	4.5	6.2	1.5	1.2	0.1	0.1	0.1
10. L	**12.1**	29.0	6.3	11.7	3.2	3.1	16.8	5.2	4.7	3.3	10.4	5.3	1.0	1.5	0.5	0.5	0.1
11. O	**10.9**	24.9	23.7	12.9	18.9	19.3	5.0	—	—	10.4	2.0	7.2	1.5	0.9	1.4	0.4	—
12. K	**9.5**	24.5	—	15.5	11.5	8.5	4.5	—	5.3	5.7	0.3	0.5	0.5	0.7	0.3	0.0	—
13. Q	**8.7**	35.2	21.5	5.5	8.5	—	2.0	—	—	—	0.1	—	—	—	1.0	0.0	—
14. F	**5.1**	14.2	—	8.7	0.2	—	3.9	—	—	—	3.5	—	—	—	0.1	0.0	—
15. R	**4.8**	17.8	7.1	3.8	2.0	—	2.2	—	—	—	0.2	—	—	—	0.2	0.0	—
16. C	**4.0**	11.7	4.0	3.2	8.0	1.5	1.0	2.4	1.1	0.9	0.1	0.3	0.2	0.1	0.1	0.0	2.2
17. H	**3.9**	12.3	7.1	4.9	0.6	1.6	2.1	3.1	2.2	1.2	3.1	0.6	0.4	0.3	0.4	0.0	2.5
18. A	**1.4**	6.5	1.8	0.7	0.3	0.6	0.7	0.7	0.4	0.4	0.1	0.1	0.3	0.1	0.3	0.3	0.8
19. J	**1.4**	5.5	1.8	0.8	.0.5	1.2	1.0	11.3	0.7	0.2	0.3	0.5	0.4	0.0	0.1	0.0	0.9
20. P	**0**	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21. Q	**0**	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

第 9 圖 a) 及び b) は簡易鋪裝用骨材として最も多く使用される石灰岩 K1 (2) を標準として此に對する分解値 (Z.W.) の降下の順に配列したものである.

3) 次に實驗結果の說明竝に其大要を一括すれば次の如くなる.

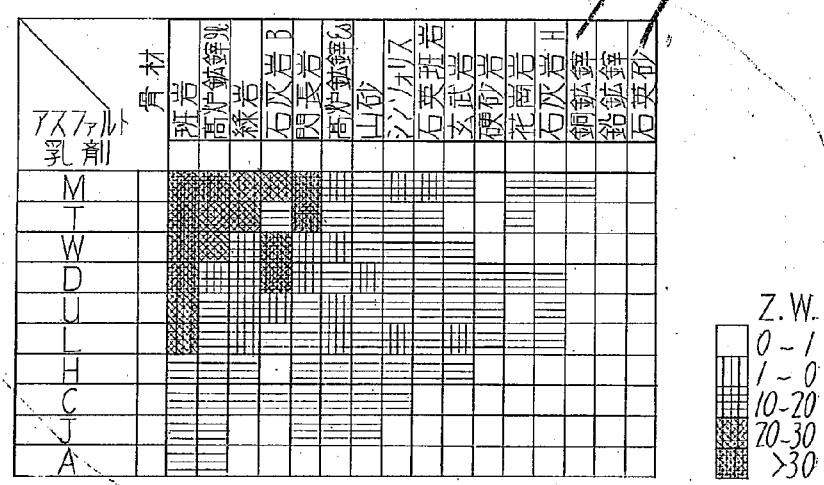
1. 瀝青乳劑に就て之を見るなれば, 各乳劑は個々の骨材に對して分解の難易が明瞭にあり其の間に階級的の差別をなして居る. 今各骨材に對する其平均分解値 (Z. W_M) の大小に應じて配列すれば平均分解値 (Z. W_M) の範圍は瀝青乳劑 W 13.1～12.3 (12.7); 瀝青乳劑 S 11.6～8.9 (9.6); 瀝青乳劑 N 8.2 (8.2); 瀝青乳劑 B 8.8～6.4



第 8 圖 a)

第 10 表 c)

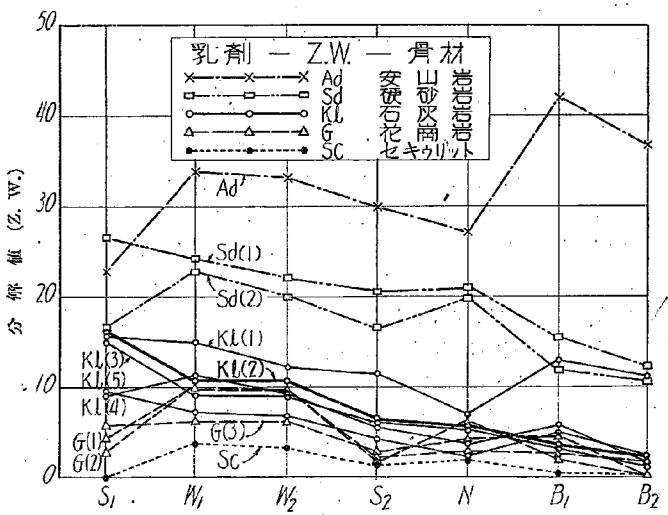
タール乳劑	Z. W_M	1. 班岩	2. 綠岩	3. 石灰岩 (1)	4. 高爐鐵鋅Eb	5. 玄武岩	6. 硬灰岩 (2)	7. 鉛鐵鋅
		7.3						
1. C	—	17.0	—	—	—	—	—	—
2. B	—	16.5	—	—	—	—	—	—
3. L	—	0	0	0	—	—	0	0
4. F	—	0	0	0	—	—	0	0
5. Q	12.2	32.9	15.2	14.2	9.6	4.9	4.3	4.4
6. J	—	0	0	—	—	—	0	—
7. P	—	1.5	—	—	—	—	—	—
8. E	7.8	26.8	8.1	8.2	3.6	3.4	2.1	2.2
9. M	—	0	0	0	—	—	—	0
10. A	—	0	—	—	—	—	—	—
11. D	—	0	—	—	—	—	—	—
12. K	—	0	—	—	—	—	0	—
13. O	—	0	—	—	—	—	—	—



第 8 圖 b)

(7.6) の順序になる.

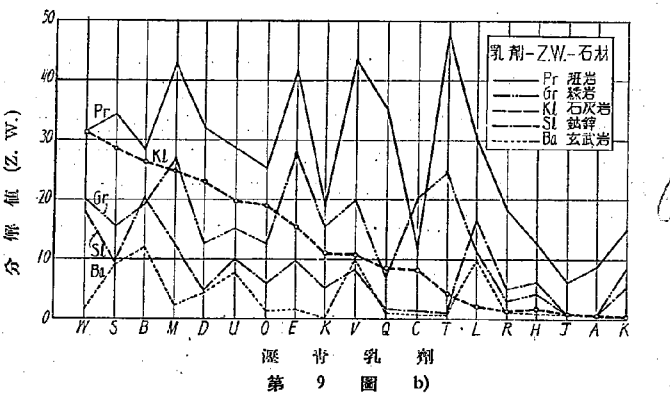
2. 骨材に就て之を見るも, 其乳劑に對する分解性の大小は上記と同樣に階級的の差別をなし其上記乳劑に對する平均分解値の大小により配列すれば平均分解値 (Z. W_M) の範圍は安山岩及び硬砂岩類 32.1～18.8 (25.5); 石灰岩及び大理石類 12.0～4.3 (7.2); 花崗岩及び石英硝子類 4.7～1.6 (3.2). の順序である, H. Weber 氏は試驗に用ひたる 16 種の骨材より, 班岩 (Z. W_M 25.0) 綠岩 (Z. W_M 12.0), 石灰岩 (Z. W_M 11.7), 高爐鑛滓 (Z. W_M 7.1), 玄武岩 (Z. W_M 3.1) 及び銅鑛滓 (Z. W_M 0.6) を主要骨材として, 之に依つて各種の骨材に對する乳劑の分解値を比較して居る.



瀝青乳劑

第 9 圖 a)

3. 次に簡易鋪裝に際し本邦に於て最も廣く用ひられる石灰岩に就て見るに, 第9圖 a), b) 及び第10表a), b)より明なる如く他種の骨材に比して其分解値は略中位を占め從つて其分解性は中庸を得て得るのを認め得る. これより乳劑施工に際して骨材に石灰岩を用ふる場合には乳劑分解の過度の遲速による施行の失敗の虞が他の骨材を用ひたる場合に比して



瀝青乳劑

第 9 圖 b)

少いものと考慮される. 此に反して或種の安山岩, 班岩, 綠岩類は分解性が極めて強い場合があり, 花崗岩, 石英砂, 銅或は鉛の鑛滓は極めて弱い. 此等は上述の石灰岩に比して瀝青乳劑との施工に際して相當に注意すべき者であると考察される. 次に各種の骨材は第7圖より明瞭なる如く其粒度が小

になりフイラー級になる時は著しく強い分解性を現すものである此事實も乳劑施工に際して一考すべきものである. 又天然石と人造石との間には乳劑に對する分解性に就て一般に根本的の差別はない.

4. 道路鋪裝用骨材は其種類多様であり又同一種族の者に就ても其産地及び風化等の程度によつて其組成竝に物理性に就ても可成の差別がある場合が多い, 從つて前述の結果よりりして必ずしも一般の場合を律する事は出來ない, 從つて或未知の骨材が乳劑に對する分解性を知る爲めには前述の諸試驗を行ふか或は後述の如き其アルカリ吸着性を檢する如き試驗をして此の結果を既知の者と比較する必要があるものと考慮せられる.

5. 本邦産アスファルト乳劑は元より獨逸産アスファルト乳劑の大部分は各種の鋪裝用骨材に對して程度の差こそあれ一様に分解性を有するものである. 然るに之に反して, 第 8 圖 b) 及び第 10 表 b), c) より明なる如く, 獨逸産アスファルト乳劑の或者 (乳劑 P, Q) 竝にタール乳劑の一部 (乳劑 L, F, J, M 等) は全く其の分解性を現さない. これは其の特殊の製造法に依る構造竝に組成の差に依る者と考へられるもので此れは前述の R. Wilhelmi 氏が唱へたる如く一般のアスファルト乳劑が主としてアルカリ鹽類竝に石鹸類の如き水に可溶性なる乳化劑を用ひ其構造は第 1 圖 (A) の如きと者も考へられるに反して, 前述り特殊乳劑 P, Q は水に不溶性なる粘土, 硅藻土, 蝶, 石膏及び金屬酸化物等の微粉末を用ひ其構造は第 1 圖 (B) の如く考へられるものにして前述の所謂ピツケリング氏乳劑 (Pickering Emulsion) と稱される者ならんと考察されるのである. 同氏の說明に依ると, 此者は瀝靑質微粒子の周圍に上述の微粉狀固體乳化劑よりなる强固なる吸着被膜を形成して其性狀は極めて安定にして其分解は, 骨材の吸着性による其被膜破壞に基くと云ふ一般の場合と異つて寧ろ水分の蒸發に依る相の轉換に依つて分解する者なりと云ふ. 此種の乳劑は下記の如く單に諸種の骨材に對して安定であるのみならず酸アルカリ類等に依つても容易に分解し難い爲めに特殊の用途を有し殊にフイラー級骨材, セメント, 石灰, 石膏等と混合して施工するに便利なりと云ふ. 本邦に於ては未だ代表的なる此種の乳劑の出現は無い様である.

6. タール乳劑に關しては H. Weber 氏の意見に依ると第 10 表 c) より明なる如く分解に就てはアスファルト乳劑に比し根本的の差はないが然し各種骨材に對して一般に安定なるもの多く分解が遲く其分解經過はアスファルト乳劑に比して正調ならざる者多く殊に一旦分解し石材に膠着するも再乳して剝脫するものが多しと云ふ. これはタールは其乳化は比較的困難にしてこの爲め多量の乳化劑を用ひ且つ特殊の乳化方法による結果其組成の差異に依るものと考慮されると同時に又或る特殊の用途を有すべきものとも考慮される.

IIII 骨材による瀝靑乳劑の分解を促進或は遲延せしむる分解試驗及び其考察

種々の條件に於ける骨材に對する瀝靑乳劑の分解に就ては前に論じたるも此章に於ては各種の骨材に豫め或種の鹽類溶液を添加して置き, 此に瀝靑乳劑を添加したる場合にその分解の程度を人爲的に促進し或は遲延させる實驗及び其考察に就て論ずる.

斯の如き方法は瀝青乳劑施工の實際上の場合に其操作を誤たざれば或る程度の應用價値を有するものと考慮されるのである. 卽ち; 若し施行に際して使用すべき骨材が瀝青乳劑に對して此を分解せしめる能力が極めて弱く其の敏速なる分解を望み得ざる如き場合には其の分解を簡單なる操作に依つて人爲的に促進させる必要があり, 又逆に骨材に對する乳劑の分解が頗る急劇にして施工の操作を十分に行ひ得ざる如き場合には其分解を人爲的に遲延させる必要があるものと考慮されるからである.

斯の如き場合に, 本章に於て論ずる實驗及び其れに關する考察事項が或參考資料となり得るものと著者は信ずるのである,

〔1〕 鹽化石灰を使用し骨材による瀝青乳劑の分解を促進せしむる試驗

(1) 瀝青乳劑の分解に對する鹽化石灰の影響

從來主としてアルカリ石鹼類を乳化劑とした一般の市販瀝青乳劑の大部分は此れに鹽化石灰の或る量を添加すれば乳化劑は破壞され從つて乳劑も瞬時に凝集を起して分解する事が知られて居た. 此の事實よりして C.L. McKesson 及び J, Myer 氏[6] 等は嚢に瀝青乳劑の一定量 (100 g) に一定濃度 (0.02N 或は 0.1N) の鹽化石灰 ($CaCl_2$) 溶液の一定量 (35 cc 或は 50 cc) を添加し之を分解せしめ其の凝集瀝青質の量を求め此が原乳劑中の全瀝青質成分に對する百分率を破壞率(index of demulsification) として表し此に依つて種々の瀝青乳劑の分解を比較する事を提唱した. 氏は種々の濃度の石鹼溶液を乳化劑とせる乳劑を調製して之に鹽化石灰の一定量を添加して破壞せしめ其乳化劑含有量と破壞率との關係を求めて, 其結果

	破壞率		破壞率
透入用乳劑;	80～100%	混合用乳劑;	<70%

が適當なりとした (第6圖). 此の方法は簡單にして便利な方法ではあるが, 然し石鹼以外の乳化劑を用ひたる場合に所要の分解が起るや否や, 又其の破壞率が施工時に於ける實際の分解速度と如何なる關係があるや, 又其分解の程度の最小最大の限度は如何等の不滿なる處多く直に標準方法としては用ひ得ざる缺點がある. 然るに, 此の方法は其後主として米國に於て盛に用ひられ其結果大多數の市販瀝青乳劑は多少の差こそあれ鹽化石灰の添加に依つて分解され且つ實際道路上に於ける分解と比較試驗も行はれて居る.

卽ち, L. Kirschbraun 氏[12] は骨材 $\frac{1}{2}''$～$\frac{1}{4}''$; 碎石 6″ 厚; 乳劑 1½ gal/sq. yard; 天候は晴天 F.D.; 及び曇天 C.D.

の場合に施行せる時の道路上の實際の分解時間と化學反應による破壞率との比較試驗を行ひたり. こ

第 11 表

瀝青乳劑 \ 試驗番號	No. 4	No. 5	No. 7	No. 6	No. 2	No. 8	No. 3	No. 1
アスファルト含有量 (%)	52.0	57.2	56.0	56.7	56.8	52.4	55.2	53.6
同上 針度 (77°F)	190	161	155	155	170	144	220	220
粘度 (セイボルト粘度計 77°F)	14.5	27.0	19.5	27.0	38.0	21.0	33.0	25.0
石鹼乳化劑量 (%)	0.45	0.52	0.55	0.38	0.30	0.29	0.29	0.28
破壞率 (%) (35cc, 0.02N $CaCl_2$)	31.0	34.0	52.0	58.0	67.0	69.0	93.0	96.0
道路上に於ける實際の分解時間 (分)	141.0	138F.D 345C.D	157.0	208F.D 350C.D	14.6	65.0	148.0	148.0

の結果は第 11 表である．氏は此の結果よりして最小破壞率 40～30% 程度の者は上述兩試驗は略平行したる關係を示せる結果を與へたるも此よりも破壞率の大なる乳劑の場合は其結果は區々なりと報告して居る．然し之に依つて此破壞試驗が道路上に於ける實際の分解に對して或範圍に於て相互的の關係ある事は明にされたのである．

更に 1933 年 K. Neubronner 氏[13]は此の方法に就て再檢討を行ひ，其の分解に於ける溫度，瀝青乳劑の組成，添加すべき鹽化石灰の濃度及び添加量竝に分解時間等の關係を考慮して多數の瀝青乳劑に就て破壞試驗を用ひて第 12 表 a) の結果を得て居る．其の結果，氏は大多數の瀝青乳劑は多少の

第 12 表 a)

試料乳劑	瀝青乳劑の組成			添加鹽化石灰 ($CaCl_2$) の濃度及び分量						破壞時間
				35 cc, 0.02N		50 cc, 0.02N		50 cc, 0.1N		
	水分 (%)	瀝青質量 (%)	乳化劑量 (%)	破壞乳劑量 (%)	破壞率 (%)	破壞乳劑量 (%)	破壞率 (%)	破壞乳劑量 (%)	破壞率 (%)	(分)
1	48.5	51.5	添加石鹼分なし	48.5	94.2	—	—	—	—	ca 30
2	48.75	51.2	同上	44.4	86.6	—	—	—	—	,, 30
3	48.7	51.0	0.3% ナフテン酸石鹼	37.15	72.6	—	—	—	—	,, 40
4	48.7	50.7	0.6 同上	21.35	42.1	—	—	—	—	,, 45
5	48.65	50.45	0.9 同上	14.25	29.2	—	—	—	—	45～50
6	48.6	50.2	1.2 同上	9.55	19.0	—	—	—	—	60～70
7	48.3	48.2	3.5 同上	0.26	0.55	1.6	3.3	48.6	100.8	85～90
8	53.2	45.9	0.9 同上	9.9	21.55	—	—	—	—	—
9	48.4	50.7	0.9 同上	27.8	54.8	—	—	—	—	ca 45
10	49.5	49.65	0.85 鹼化流動樹脂	10.4	20.9	—	—	—	—	50～60
11	47.5	51.6	0.9 樹脂石鹼	14.9	28.85	—	—	—	—	50～60
12	48.0	49.3	2.7 脂肪酸アルカリ	0	0	0	0	36.6	74.2	ca 105
13	46.7	—	市販カルトアスファルト I	8.4	16～17	—	—	—	—	,, 60
14	46.0	53.35	同上 II	28.0	52.5	—	—	—	—	35～40

差はあれ鹽化石灰添加により分解される事を明にし且つ其破壞の程度は乳化劑の種類及び量，瀝青質材料の性質及び量，竝に水分等の瀝青乳劑の組成により影響されるものであると結論した．氏は同時に上述の如き瀝青乳劑の組成の相違に依る其分解の難易の程度を考慮して此の破壞實驗に使用すべき鹽化石灰の濃度及び量に就て或る範圍の者が最も便利なる事を提唱して居る．卽ち瀝青乳劑 100 g の破壞に添加すべき鹽化石灰溶液の濃度及び量は次の如くである．

鹽化石灰溶液 ($CaCl_2$ Solution)	濃度	添加量
$CaCl_2$	1/50 N (0.02 N); ca 0.1%	35 cc
$CaCl_2$	1/100 N (0.01 N); ca 0.05%	50 cc
$CaCl_2$	1/100 N (0.01 N); ca 0.05%	70 cc
$CaCl_2$	1/50 N (0.02 N); ca 0.1%	50 cc
$CaCl_2$	1/10 N (0.1 N); ca 0.5%	50 cc

著者は上述の事項を考慮に入れて代表的なる國産市販アスファルト乳劑の A 種 (透入法用: B (BH), W, S, N, Eb, El, Sw), 並に B 種混合法用: (B (HRF, HCM, HX), El) 乳劑に於て鹽化石灰に依る上記の試驗を行ひ之に依る破壞の程度を比較したり. その結果は第12表 b) に表示した. これに依つて本邦の市販瀝青乳劑も同樣に鹽化石灰の添加に依り破壞による分解を起すものである事を確めたのである. 然してその程度は上述の J. Myers 氏に依る條件に於ては破壞率 50～95% の範圍に位するものが最も多い.

第 12 圖 b)

撒布滲透法用試料		乳劑 100 gr に對して 35 c.c., 0.02N $CaCl_2$ 添加		
試料名	瀝青質含有量 (%)	破壞瀝青量 (gr)	破壞率 (%)	破壞時間 (sec)
B. H. 乳劑	52.5	18.0	34.3	120
W ,,	52.0	47.8	91.9	,,
S ,,	52.0	47.1	90.5	,,
N ,,	52.8	41.2	78.0	,,
Eb ,,	52.8	47.0	70.4	,,
El ,,	50.5	24.0	47.5	,,
Sw ,,	54.0	28.0	51.9	,,
混合法用試料		乳劑 100 gr に對して 50 c.c., 0.1 N $CaCl_2$ 添加		
B. 乳劑 (H.R.M.)	55.0	41.0	74.5	120
B. ,, (H.C.M.)	57.0	27.0	47.4	,,
B. ,, (HX)	54.0	49.0	90.7	,,
El ,,	55.0	52.0	94.5	,,

(2) 骨材に鹽化石灰を添加しての分解

前述の如く J. Myers 氏に依る鹽化石灰を使用しての破壞試驗は方法として便利なるものであるが未だ不備なる點が多く一般の分解試驗の標準方法として用ふるには未だ不完全である, 然し市販瀝青乳劑の大多數が鹽化石灰の添加に依つて容易に破壞分解を生ずることは上述の實驗結果より明である.

著者は此處に於て, 此方法の原理のみを採りて次の如く道路舗裝用各種の骨材に豫め一定量の鹽化石灰を添加して置き之れが瀝青乳劑に對する分解性を強め然る後に之と一定量の瀝青乳劑とを混合し速に乳劑を破壞せしめ然して其の分解値 (Z.W.) を測り鹽化石灰を添加せざる場合と比較して此添加に依つて瀝青乳劑に就ての分解作用が如何に促進されるかを試驗し且つ略定量的の比較を試みたのである. 試料に就ては骨材は前述の者 (DIN K3 ϕ: 2.00～0.6 m.m.) を用ひ乳劑は A 種乳劑 B を用ひ又添加すべき鹽化石灰の濃度及び量に就ては前節に述べたる事項より考慮して, 1/10N (ca 0.5%), 1/20N (ca 0.25%), 1/50N (ca 0.1%) の比較的稀釋溶液を骨材 10 g に對し 2 cc 使用した. 同時に鹽化石灰 ($CaCl_2$) の他に中性鹽なる食鹽 (NaCl) の 1N (ca 6%), 1/50N (ca 0.1%) の溶液を使用した.

斯の如くして分解試驗を行ひたる結果は第 13 表及び第 10 圖に之を表示せり.

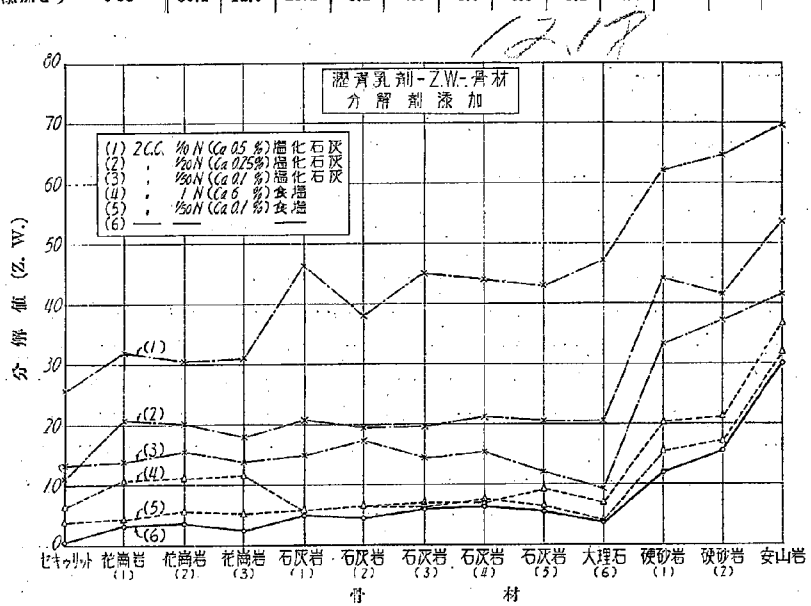
次に此の試驗結果並に考察事項を一括すれば次の如くなる.

1. 各種の骨材に豫め一定量の鹽化石灰を添加し置き之に瀝青乳劑を混合すれば乳劑の分解は急劇に促進され從つて短時間に其表面に多量の瀝青質が凝集するを見る.

2. 分解促進の程度は鹽化石灰添加の場合は食鹽添加の場合よりも遙に大である. 食鹽は比較的濃厚なる溶液 (1N) の場合に於ても分解を促進する程度は極めて小である. 此は乳化劑として用ひられて居る石鹼類に對して一般にカルシウム鹽類は破壞力が強く, 曹達鹽類は弱いと云ふ性質にも依るが又其水溶液中に於ける二價の Ca^{++} が一價の Na^{+} よりも一般に乳劑の安定を支配する其水素イオ

第　13　表

	安山岩	硬砂岩(1)	硬砂岩(2)	石灰岩(1)	石灰岩(2)	石灰岩(3)	石灰岩(4)	石灰岩(5)	大理石(6)	花崗岩(1)	花崗岩(2)	花崗岩(3)	セキサリット
$f\frac{1/10N}{0N}CaCl_2$	2.3	4.8		8.5						10.3			51.0
		5.2	4.3	8.8	8.6	7.6	6.9	8.2	10.8	10.0	8.6	12.3	
添加鹽化石灰 1/10 N 2 cc	69.3	63.4	64.8	46.0	38.5	45.5	44.6	42.8	47.5	32.0	30.2	30.7	25.5
添加鹽化石灰 1/20 N 2 cc	53.3	43.5	41.5	20.4	19.5	19.1	21.0	20.4	20.5	20.6	20.1	18.4	10.7
添加鹽化石灰 1/50 N 2 cc	41.2	33.2	37.3	14.9	17.5	14.4	15.2	12.2	9.3	13.6	15.5	14.0	13.2
添加食鹽 1 N 2 cc	36.8	20.2	21.2	6.0	6.5	6.7	7.1	9.3	7.1	10.5	11.1	11.5	6.1
添加食鹽 1/50 N 2 cc	32.1	15.5	17.2	5.5	6.2	6.4	7.4	6.5	4.2	4.2	5.4	5.2	3.6
添加せず 0 cc	30.2	12.0	15.2	5.2	4.5	6.0	6.5	5.2	4.4	3.2	3.5	2.5	0.5



第　10　圖

ン濃度に影響を及ぼし從つて斯の如き鹽類の添加に依つて乳劑はそのアルカリ性度即ち水素イオン濃度の變化を生じ依つて前に論じたる乳劑の安定を支配すべき ζ－電位差に變化を與へ，此の結果分散凝膏質粒子の凝集を生じ從つて破壞的分解が起りたるものとも考慮される．

3.　次に豫め骨材に 1/10N 鹽化石灰溶液を添加したる場合と添加せずに分解したる場合との比，卽ち $f\frac{1/10N}{0N}CaCl$ を見るに，(第 13 表)

安山岩 2.3;　硬砂岩類 4.8;　石灰岩類 8.5:　花崗岩類 10.3;　セキウリット (硝子) 51.0 の如く

骨材の種類に依つて分解の促進される場合に差があり一般に乳劑に對して分解性の弱い骨材（花崗岩類，硝子質物質）が鹽化石灰溶液の添加に依つて比較的に分解性が強められる事が認められる．換言すれば鹽化石灰の添加に依る分解の促進は分解性の弱い骨材の場合に一層有效である樣に觀察される．

4. 次に此の試驗より考慮して注意すべき事項は，瀝青乳劑を使用しての工事施行に際して人爲的に乳劑の分解を促進する場合には其の添加すべき分解劑（例へば鹽化石灰）溶液の濃度と量との適當なる調節を必要とする事である．

若し餘に濃度大なる分解劑の過剩量を使用する時は乳劑は殆ど瞬間的に大部分破壞されてその結果骨材との混合に困難を生じ又形成したる粘着性の瀝青質被膜は多量の水分を含有し膠着力がなく完全なる被膜の形成を望み得ざる處がある．此の場合を考慮して其の濃度は上述したる鹽化石灰 1/2N ～1/50N 溶液程度の比較的稀釋なるものが適當せる如く觀察したり．

5. 最後に，上記の如き分解劑は單に鹽化石灰に限らず．一般に酸類，石灰及びマグネシヤ鹽類（例，石灰及び苦汁）鐵及アルミナ鹽類等（例，明礬）の稀釋水溶液竝に天然に存する鹽類泉，炭酸泉，硬水等も多少その性狀を有するものと考慮される．

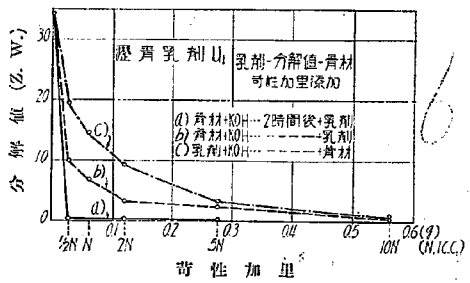
〔2〕 **アルカリ鹽類を使用し骨材に對する瀝青乳劑の分解を遲延せしむる試驗**

（1） **瀝青乳劑の分解に對するアルカリ類の影響**

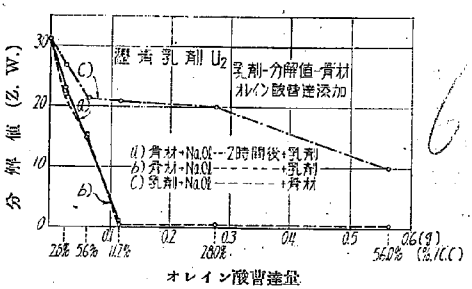
前述の如く骨材に對する瀝青乳劑の分解は第7圖に示せる如く其の粒度が非常に小になり從つて其一定量の全表面積が大になり瀝青乳劑との反應面積が廣くなつた場合，同時に表面に於ける其吸着性が强くなつた場合，或は骨材の表面が新鮮ならずして風化變質したるか或は種々の集積したる鹽類に依つて覆はれたる場合等に際しては之と乳劑とを混合する場合に相當に甚しき破壞的分解が起るべきものである．事實或種の瀝青乳劑とフイラーとを混合する場合に際して其の破壞分解が急劇に起り從つて混合の操作は容易でなく其の結果均等にして完全なる滲透或は混合を望み得ざる場合があり，或は作用すべき乳劑が頗る不安定にして分解し易く，或は氣候溫度等の外界の狀態が乳劑を甚しく敏速に破壞せしめる如き場合に際しても同樣に其の施行に困難を生ずる處がある．斯の如き場合には其の分解を或程度に遲延させる必要がある．然して此の目的の爲めには，次の如く骨材に豫め略乳化劑と同樣な性狀を持つ或種のアルカリ類をプライマーとして添加させる事に依り分解を比較的に遲延する事が出來る．曩に，H. Weber 氏等は試料として分解性の强き乳劑 (U) 及び骨材（班岩 ϕ:2.0～0.6 mm）を使用し又アルカリ類としては苛性加里 (KOH) の濃度 1/2N, N, 2N, 5N, 10N 竝にオレイン酸曹達の濃度 2.8%, 5.6%, 11.2%, 28% 等なるものを骨材 10 g に對して 1 cc を使用し，而して a) 骨材に豫めアルカリ類を添加し 2 時間後に之に乳劑を加へる場合，b) 骨材に豫めアルカリ類を添加し之に直に乳劑を作用させる場合，c) 乳劑に直接にアルカリ類を添加して之に骨材を加へる場合等を考慮して其の分解性を遲延させる程度を試驗した．

其結果は第 11 圖 a) 及び b) である．同氏は此試驗よりして骨材に對する上記の鹽類の添加は之に作用する瀝青乳劑の分解性を減殺するものなる事を實驗的に證明し且つ一般の上記の三つの場合は略同樣なる傾向を表すも特に a) の場合には比較的小量のアルカリ類添加に依り其目的を達し得る事を認めた．

斯の如く分解に對して或る緩和劑を使用する事に依つて瀝青乳劑の急劇なる破壞或は局部的の分解



第 11 圖 a)



第 11 圖 b)

を妨ぎ乳劑と細骨材との混合を容易ならしめ得るのである．從來實際上斯の如き場合にプライマーとして主に苛性曹達或は曹達灰の溶液及び重油類が使用され居てる．著者は斯の如きプライマーの使用に際して如何に瀝青乳劑の急劇なる破壞が妨止され其の分解が遲延されるを比較する爲め上述の各種の骨材に就て其分解緩和劑の影響を試驗した．

（2） 骨材にアルカリ類を添加しての分解　前項に於ては或種のアルカリ類は骨材に對する瀝青乳劑の分解を遲延すべき或る緩和劑としての作用をする事を論じた．次に此に於ては前記の各種骨材に豫め種々の濃度のアルカリ類の一定量を添加し置き此に就て前述の鹽化石灰の場合と同樣なる方法に依り分解を試驗した．之に使用したるアルカリ鹽類は無機アルカリ類として曹達灰（炭酸曹達 Na_2CO_3），苛性曹達（NaOH）及び有機アルカリ鹽として通常の石鹼の主成分なるオレイン酸曹達竝に石鹼類と類似の性質を有する硫酸化油（ロート油）等である．又重油は骨材と乳劑との混合の際に潤滑劑としての役をする故に之をも使用した．斯の如くして分解試驗を行ひたる結果は第 14 表第 12 圖 a) に之を表示し，

第 14 表

	安山岩	硬砂岩 (1)	硬砂岩 (2)	石灰岩 (1)	石灰岩 (2)	石灰岩 (3)	花崗岩 (1)	花崗岩 (2)	ヤキウ ヤリツト
$f\frac{1/10N}{0N}Na_2CO_3$	0.74	0.60		0.38			0.31		0.0
		0.58	0.62	0.34	0.37	0.42	0.29	0.34	
炭酸曹達 N, 2 cc	13.8	15.4	14.2	2.4	3.1	2.6	0.9	1.1	0.0
炭酸曹達 1/10 N, 2 cc	32.4	20.2	25.6	2.7	3.8	4.4	1.2	1.4	0.0
炭酸曹達 1/20 N, 2 cc	41.3	23.5	30.5	3.4	4.0	4.7	0.5	1.2	0.0
炭酸曹達 1/50 N, 2 cc	43.3	31.5	33.8	5.1	6.2	6.1	3.4	3.0	0.2
苛性曹達 N, 2 cc	26.4	24.4	22.0	2.5	2.4	2.5	1.2	1.3	0.0
オレイン酸曹達 1%, 2 cc	32.5	23.3	22.4	4.1	3.6	2.8	2.2	2.4	0.0
オレイン酸曹達 1/5%, 2 cc	38.6	29.3	25.1	4.9	5.2	5.4	3.6	4.2	0.4
ロート油 2 cc	36.7	34.3	32.0	3.5	2.3	3.4	2.7	1.9	0.2
重油 2 cc	30.5	21.9	38.2	3.3	2.7	3.3	2.0	1.8	0.4
重油 0 cc	43.5	34.6	41.0	8.0	10.3	10.4	4.1	4.1	0.8

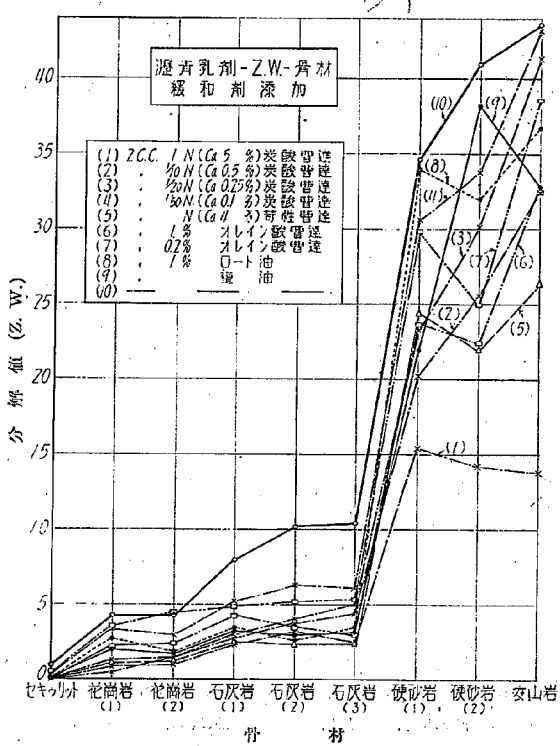
又 H. Weber 氏に依て同様に試驗された結果は第 12 圖 b) に附記した.

其試驗結果及び考察事項を一括すれば次の如くなる.

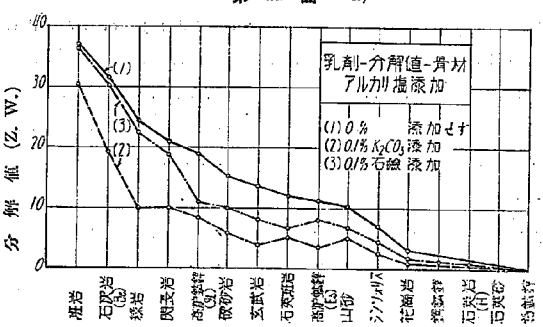
1. 上述のアルカリ鹽類の添加は明に瀝青乳劑の分解を遲速させる作用をなし, その傾向は分解性の著しく强からざる硝子, 花崗岩, 石灰岩類の場合には略一樣の傾向を示すも分解性の强い硬砂岩, 安山岩等に於てはその結果は多少區々なる傾向を表して居る.

2. 斯る鹽類溶液の分解を遲延させる程度は炭酸曹達, 苛性曹達及びオレイン酸曹達の場合は濃厚なる溶液の場合に大にして, 濃度の減少に伴ひ減少する. 次に, ロート油はオレイン酸曹達にその作用略相等しく重油も以上の者に比して其能力の劣らざるを示せり. 此者は表面張力が少い爲め容易に骨材の表面に擴散浸潤して表面を被覆し其空隙を塞ぎ骨材の吸着性を減殺するに由る者と考慮される. 其の他, 重油は混合に際して有效なる潤滑劑としての作用を有し, 之を容易ならしめる作用を有する.

3. 次に前節に述べたる鹽化石灰の場合と同樣なる意味を有する比 $\frac{1/10N}{0N}Na_2CO_3$ を見るに, 安山岩 0.74; 硬砂岩類 0.64; 石灰岩類 0.38; 花崗岩類 0.31; セキウリット 0.0 の如く骨材の種類に依り其の程度に差のあること前述の鹽化石灰の場合と同じである, 又此の場合にも過度に濃厚なるアルカリ鹽の過剩量の添加はその必要を認めず從つて此割合には一定



第 12 圖　a)



第 12 圖　b)

の限度があり又この限度も骨材と瀝青乳劑の性質に依つて變へらるべきものである.

4. 最後に,斯の如き分解を遲延せしめる者には單に上記の鹽類に限らず一般にアルカリ性にして瀝青物質の乳化劑として考へられて居る者は同樣なる性狀を有す.此れには,苛性加里或は苛性曹達のアルカリ類,珪酸竝に磷酸曹達,石鹼及びロート油類,蛋白物質のアルカリ鹽類等がある.

V 骨材による瀝青乳劑の分解の素因に就て

上述の如く骨材による瀝青乳劑の分解に就て種々の場合を論じたる著者は最後にかゝる場合の分解の素因に就て主として現今此の方面の研究に依つて考察されて居る事項を概說し以て之が結尾とするものである.

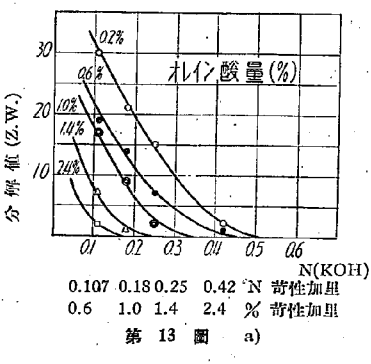
〔1〕 骨材及び瀝青乳劑の性狀に依る素因に就て

先ず骨材の場合に於ては前述の如く其の粒度の大小(表面積の廣狹)又は表面の性質(空隙性及び風化變質の程度)或はその種類の相違による化學組成(石英質及び石灰質等)の相違に依つて瀝青乳劑に對する分解性に差別のあるを認めた.然して其の粒度の大小に依る影響よりして骨材に對する瀝青乳劑の分解はその接觸界面に於ける反應に過ぎない事を認め得るのである.從つて界面に於ては當然に分子の吸着の現象を豫想し得べく分解作用は此等の現象に或る素因を有するものと考慮される.界面に於ける吸收作用に就ては主として骨材の空隙性(Porosität)に關係する.H. Becher 氏等は骨材の表面の空隙は乳劑と作用する場合に,恰も乳劑を濾過する場合に濾紙上に沈澱を殘す如く表面に瀝青質を留める事を考慮して其空隙率(Vol %)と分解値(Z.W.)とを測定した.其の結果は前第9表b)及び第10表b)である.同氏等は此の結果よりして,一般に骨材の空隙率の增加は其の濾過及び吸收作用に依つて乳劑の分解に影響を及ぼす傾向はあるが然しこの傾向は必ずしも總てし場合ではない.卽ち骨材綠岩と石灰岩(2)とは空隙率略等(1.7; 1.5)しいがその分解値(Z.W.)は著しく相違し(12; 0.8)又高爐鑛滓と綠岩とは其分解値略等しい(13.6; 12)が空隙率に相當の相違(6.6;1.7)がある事を認めその分解は上述の如き簡單なる關係以外に他の素因に依る影響も考慮し得る事を推論して居る.同氏等は又骨材を全く乾燥したる場合或は反對に水及びパラフィン油等で豫め飽和濕潤したる場合に就て分解値を測り之を比較して其各場合を通じ分解に著しい變化を認めざる事より更に其の推論を確めて居る.其の他 H. Klinkmann 氏[14]も同樣の試驗を行ひ骨材の空隙率に分解値との間に一定の關係を見出し得ない事より上述の推論を認めて居る.著者も〔III〕に述べたる實驗より吸水率と分解値との間の關係を見出し難く一般に吸水率の大なる花崗岩が吸水率小なる石灰岩よりも却つて分解値の小なるを認めて居る從つて骨材の濾過に依る吸水作用は瀝青乳劑を分解せしめる一つの素因ではあるが此場合に他の素因の存在をも推測した.

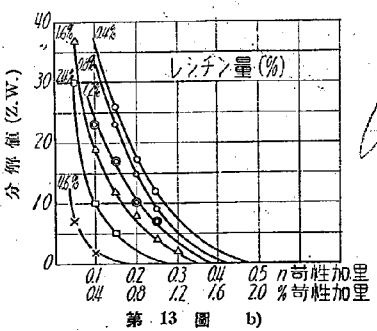
骨材の表面の風化變質に依る影響に就ては H. Becher 氏は表面が親水性(hydrophil)であるか或は疎水性(hydrophob)であるかに依り其分解性に相違があると述べ,又 Kell 氏は骨材表面を作れる化學成分或は表面に沈積固着せる鹽類或は其等の風化變質物の水溶成分(例:CaO はアルカリ性溶液に一部可溶)が乳化溶液中に溶出し乳化劑の一部分と反應して例へば乳化劑に石鹼類を用ひたとすれば不溶性カルシウム石鹼を生成し從つて乳化が破壞されると說明して居る.然し H. Klinkmann

氏はこの點に關して簡單なる實驗を行ひ骨材の可溶成分が乳化溶液中に溶出する量よりも反對に乳化溶液より骨材に吸着せられる量の大なるを認め其結果氏は溶出に依る上述の如き反應は此場合に主なる素因とは考へ得ず却つ骨材に依るアルカリ吸着作用が主要なる素因を成すものと考察した. 次に瀝青乳劑の分解に就ては〔II〕に概說した如く乳劑中に於ける乳化劑の含有量或はアルカリ度の減少竝に其の破壞等が直接に分解の素因になる事は明である. 然して實驗室に於て一定量の乳化劑を用ひ簡單に瀝青乳劑を調製して其骨材に對する分解値或は安定度と乳化劑含有量との關係を試驗した者も少くない. 此に就ては前述の H. Bechler 氏, W. Walther 氏及び G. Keppler, P. Blankenstein, H. Borchers 諸氏[15] の研究がある. G. Keppler 氏等はオレイン酸に苛性加里溶液竝にレシチンに苛性曹達溶液を夫々種々の割合に含有せしめたる乳劑を調製して上述の關係を試驗した. 第 13 圖 a) 及び b).

而して此の諸氏は斯の如き試驗の結果よりして, 一般に瀝青乳劑は乳化劑及びアルカリ含有量の多き場合は分解し難く之の減少に伴ひ急に安定度を失ひ分解し易くなり從つて分解値は大になる. 然して或る一定のアルカリ性度に於ては乳劑の安定は唯乳化劑を增加するのみによつて安定度を容易に增加し得るものにして, 例へばアルカリ含有量 1% とすれば乳化劑含有量 10%のものは 0.8% のものより 5 倍の貯藏安定を有し又其各の含有量を種々に變せじめることに依つて或る一定の安定度を有する乳劑を種々製造し得る事を論じた.



第 13 圖 a)



第 13 圖 b)

(2) 特に骨材のアルカリ吸着性に依る素因に就て 著者は〔III〕に於て各種の骨材に豫めアルカリ類を添加して之に瀝青乳劑を作用さすれば其の分解作用が著しく遲延される事を試驗した. 更に H. Weber 氏等に依る同樣なる試驗に就ても之を論及して置いた.

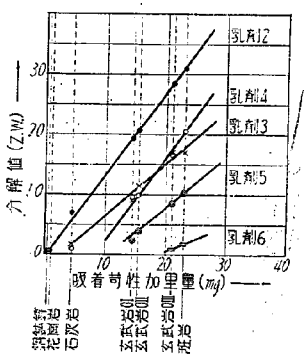
斯の如き結果より一般にアルカリにて飽和されたる骨材は分解能力が極めて弱く此に反して未だ飽和されず從つてアルカリ吸着性の强き者は常に相當の分解能力を有する事が實驗的に考察された.

次に, 上記の如き骨材のアルカリ吸着性の强弱と瀝青乳劑に對する分解作用の大小との關係を定量的に試驗してかゝる素因と分解の關係を考察せる者に前述の H. Klinkmann 及び G. Keppeler 氏等の研究がある. 今斯の如き試驗竝に考察に關するものとして後者の試驗を略述すれば次の如くである. 先ず各種の骨材に依るアルカリ鹽類よりの吸着アルカリ量を測定する爲めオレイン酸加里 1% 溶液 50 cc を各種骨材 (斑岩, 玄武岩, 石灰岩, 花崗岩, 銅鑛滓) 10 g に添加して此場合にアルカリ吸着を生ずるか或は脂肪酸の吸着を生ずるかを試驗したるに脂肪酸には其濃度の變化を見ず主としてアルカリに吸着が生じて居るを確め其の吸着量を測定した. 次に苛性加里とオレイン酸とを種々の割合に

第　15　表

I	II	III	IV	V				
				分　値　値　(Z.W.)				
骨　材	吸着苛性加里量 mg/10g (骨材)	メチレン青 α_M	コンゴー赤 α_K	乳劑 2 0.2% 苛性加里 1.0% オレイン酸	乳劑 2 0.2% 苛性加里 2.4% オレイン酸	乳劑 4 1.0 %苛性加里 0.2 %オレイン酸	乳劑 5 1.0% 苛性加里 1.0% オレイン酸	乳劑 6 1.0% 苛性加里 2.4% オレイン酸
班　岩	23.0	0.22	0.0302	30.7	16.8	20.2	10.1	1.6
玄武岩　III	21.2	0.21	0.023	28.5	16.8	16.2	8.3	0.7
玄武岩　OII	15.1	0.155	0.012	20.2	11.2	9.6	3.9	0.4
玄武岩　OI	14.7	0.155	0.0114	19.3	9.0	9.2	2.3	0.5
石炭岩	4.5	0.055	0.055	6.9	1.9	0.8	0.8	0.4
花崗岩	0.79	0.018	0.0087	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1
鋼鐵鉾	0.11	0.01	0.010	0.4	0.2	0.1	0.1	0.1

含める各種のアスファルト乳劑を調製して其分解値を測定し之を比較し然して各骨材に對する吸着アルカリ量及び分解値 (Z.W.) の關係を圖表しこれに依つて骨材アルカリ吸着作用と分解作用との間には或定量的の關係のあるを示して居る，第15表及び第14圖.



第　14　圖

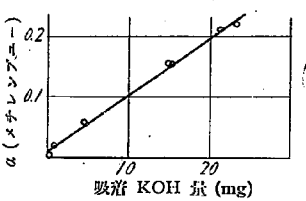
更に同様なる骨材に依る色素溶液（メチレンブリユー及びコンゴーレツド）よりの色素の吸着量を測定し其の結果液體と固體の界面に於ける吸着等溫式 (Adsorption isothermal)

$$\frac{X}{m}=\alpha\cdot c^{\frac{1}{n}} \qquad \cdots$$

茲に X=被吸着物質の量；m=吸着物質（骨材）の量；c=吸着が起つて後平衡に達した時の溶液の濃度.

$$\alpha,\ n=\text{定數} \qquad \left(\frac{1}{n}=0.1\sim0.5\right)$$

に於て $m=1$, $c=1$ なる場合に於ける α の値を吸着能を表す單位と考へ此の値を求め之と骨材に依るアルカリ (KOH) 吸着量との關係を求めた，第15圖. 而して瀝靑乳劑の分解の主なる素因ともなるべき骨材のアルカリ吸着性の大小は上述の如き鹽基性色素（メチレンブエー）の吸着を測定することに依つて定量的に定めらるべきと論及して居る. 之を要するに骨材による瀝靑乳劑の分解は乳劑に就ては，瀝靑質材料及び乳化劑の含有量及び性質竝に，乳劑の膠質化學的の組成及び性質に關係し，次に骨材に就てはその種類の相違に依る組成及びその表面の物理性殊に上述の如くそのアルカリ性溶液に對する吸着作用等に依つて影響される處大であると考察される.



第　15　圖

VI 要 約

1. 瀝青乳劑の組織とその安定及び分解に就て概說し，要するに乳劑の安定は乳化液中に於ける界面張力の變化及びイオン吸着に依る界面吸着及び電氣現象に依つて平衡を保てる乳化狀態に關係し又その分解は此の平衡が破壞されたる時に起るべき凝集に始まるのである.

2. 斯の如き凝集は主として乳化溶液中に於ける化學反應に依る吸着フイルム或は界面電位差(ζ－電位差)の變化による分散粒子の融合に依つて生ずるのである.

3. 骨材に對する瀝青乳劑の分解に於て骨材被覆試驗を行ひ本邦產瀝青乳劑の中にて A 種乳劑と B 種乳劑とは分解時間に可成の相違があるを確め，而してこの場合は主に相の轉換により分解を始め分解の初期には瀝青質被膜中に多量の水分を含み未だ十分なる膠着性を表さず分解の完結せざる內は再乳化を起す虞あるを認めた.

4. 次に洗滌法に依る分解試驗をA種乳劑に就て行ひ各時間の經過に依る時間と分解率との關係を求め，分解は始めの1時間內外が最も汪盛にして次第に緩慢になりその完結に少くとも 12 時間以上を要するを認めた.

5. 更に浸漬法に依り本邦產簡易鋪裝用各種の骨材に對する瀝青乳劑の分解値 (Z.W.) を測定し之を表示し，次いで各種の骨材に依る瀝青乳劑の分解は乳劑の性質のみによるものに非ず骨材の種類及び性質に依つても著しく相違するものなる事を示した.

6. 此の結果或種の安山岩及び硬砂岩類が分解性が强く此に反し花崗岩及び石英硝子類は弱く石灰岩類はその中位を占むる事を認めた.

7. 骨材に豫め或る鹽類溶液(鹽化石灰)を添加する事に依り瀝青乳劑の分解を促進し得る事を實驗に依り確め，而してこの際其の溶液の濃度及び添加量に或る限界のあるべき事を考察した.

8. 前項と同樣に或るアルカリ溶液の添加に依り，反對に瀝青乳劑の分解を遲延し得る事を實驗に依り確め，而してこの際にも同樣なる限界のあるべき事を考察した.

9. 骨材に依る瀝青乳劑の分解の素因に關する諸說に就て論じ，骨材によるアルカリ吸着作用がその主なるもの>一つであると考慮した.

以上の諸試驗に際して西川技師の御指導を給りたる處多し錄して感謝の意を表す.

§參考文獻

1. 內務省土木試驗所報告(昭和 7, 12 月): 土木工事用材料標準試驗方法.
2. Allg. Ind. Verlag. Berlin: Wie prüft man Stratzenbaustoffe?
3. 內務省土木試驗所報告(第 26 號): 道路鋪裝用瀝青乳劑の性狀に關する基本的研究 (1).
4. M.L. Meunier: Revue général d. Routes 6, 577, 1931: La physico-chimie d. emulsions aqueuses d. bitume pour la route.
5. R. Wilhelmi: Asphalt u. Teer Stratzenbautechnik 32, 1, 6, 1932: Die Kolloid-Chemischen Vorgänge bei der bituminöser Emulsion.
6. C.L. McKesson: The Canadian Engineering 16, 11, 15, 1931: Test for Modern Paving Emulsion.
7. A.W. Hexson & J.M. Fain: Ind. Eng. Chem., 24, 12, 1336, 1932: Stabilization of Aqueous Dispersion of Asphalt.

8. H. Walter: Asphalt u. Teer Stratzenbautechnik, 33, 38, 698, 1933: Beiträge zur Kenntnis bituminöser Emulsionen.
9. 1 及び 2 参照.
10. 6 参照.
11. H. Weber u. H. Bechler: Asphalt u. Teer Stratzenbautechnik, 32, 3~9, 1932: Über der Zerfall der bituminösen Stratzenbau-Emulsionen durch Berührung mit dem Gestein.
12. L. Kirschbaum: Roads and Streets LXXXVI, 4, 150, 1933: Evaluation of Emulsified Asphalt for Road Building Purposes.
13. K. Neubronner: Asphalt u. Teer Stratzenbautechnik 33, 1, 10, 1933: Über die Anwendung der J. Myers'chen Entemulgierungs-methode auf Kaltasphalte.
14. H. Klinkmann: Asphalt u. Teer Stratzenbautechnik, 33, 46, 48, 19, 1933: Über die Brechung bituminöser Emulsion am Gestein.
15. G. Keppeler, P. Blankenstein u. H. Brochers: Angew. Chemie. 47, 15, 223, 1934: Die Brechbarkeit vom Bitumenemulsionen und ihre Beeinflüssung.

阪神地方沿岸風水害調査報告

内務技師　松　尾　春　雄

内容梗概

昭和9年9月21日，大阪灣附近に襲來した颱風が阪神沿岸地方に與へた被害は風よりも之に伴ふ水位の上昇によるものが多い．本文は此等地方の主として水による被害の調査をなしたものゝ報告であり，兼て將來の對策に就て私見を添へたものである．

目　次

I　緒　言……（1）
II　水位の上昇と之に伴ふ被害……（2）
〔1〕氣象概要……（2）
〔2〕水位の上昇……（3）
〔3〕港灣工作物の被害……（9）
III　被害輕減に對する施設……（14）

I　緒　言

昭和8年3月に三陸地方を襲つた津浪の災害復舊工事が未だ完成せず將來の津浪を如何なる構造物によつて防ぐかに就て未だ十分なる檢討を盡されない時にあたり，突如として關西地方を襲つた風水害は本邦朝野の眼を一齊に同地方に向けしめるに到つた．今回の災害の中最も被害の大なるは大阪市下町が浸水した事に依るものである．大阪に於ては最近に

大正元年9月23日　　明治44年6月19日

の兩度暴風津浪の被害があり其程度は今回程著しくないが兎に角之等の現象が決して極めて珍らしいものではない事を示してゐる．そして大阪を中心とした地方に於て將來の此種の災害を輕減する事に就ては當事者に於て着々工事が進められてゐる．然し問題は獨り大阪に止まらないで之を相似の狀態にある我邦の主要都市にとつても，大阪と同樣或はそれ以上に重要な事である．若し颱風が此等主要都市を同一の確率を以て襲ふとすれば，此次に最も警戒を要するのは大阪よりも寧ろ他の都市である筈である．東京或は名古屋等に於ても齊しく警戒を要する事は最近の災害の記錄によるも明らかであつて一例を東京にとつて見るに

寛政3年8月6日（西暦1791年9月3日）　　同　年9月4日（1791年10月1日）
安政3年8月25日（1856年9月23日）　　明治44年7月26日（1911年）
大正6年10月1日（1917年）

には暴風に因る津浪に因り下町一帶は著しい被害を受けた.

尙安政元年11月5日（1854年12月24日）の南海道大地震に伴ふ津浪は大阪に於ては其程度は今回の暴風津浪よりは多少大であつた様で，太平洋外側地震帶に近い上記の各都市に於ては地震による津浪の防禦を決して等閑に附し得ない事を明らかに示してゐる.

從來斯くの如き災害に對する調査對策が示されたものがある[1]に拘らず之に對する施設が殆ど行はれてゐないかの觀があつて甚だ遺憾である.

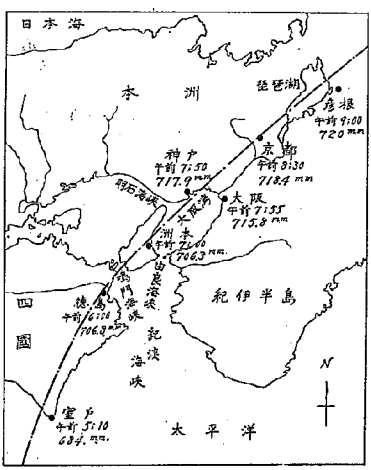
本報告に於ては9月26日より10月2日迄の間に亘り今回の災害の中主として阪神沿岸地方の水害の狀況を調査したるものを報告し併せて災害輕減の施設に對する私見を述べ將來の災害輕減の爲の施設に對する一資料たらしめやうとしたものである.

本調査に當つて內務省大阪及神戸兩土木出張所，大阪府，兵庫縣，和歌山縣各土木當局及大阪市港灣部各位及調査に行を共にした本所員柄澤技手を煩した事大である．玆に前記各位に對し厚く感謝の意を表する.

II　水位の上昇と之に伴ふ被害

〔1〕氣象概要

水位の上昇を述べる前に順序として當日の氣象の中，大阪附近各地に於ける最低氣壓の示度及之を示した時刻，低氣壓中心の推定經過線を第1圖に示した.[2]



第1圖　測候所に於て最低氣壓を記錄した時刻及その示度，鎖線は颱風の中心の推定經過線

之に依れば颱風の平均進行速度は次の如くである.

室戸	洲本間	88.5 km/時
洲本	大阪間	71.8
大阪	京都間	74.7
京都	彦根間	106.5

尙室戸に於ける最低氣壓 684 mm は信用ある測候所に於て測定されたもの>最低記錄であると報告されてゐる.

第2，3 及 4 圖に大阪，神戸及和歌山にある各府縣測候所に於ける當日前後の氣壓，風速，風向を示した.

風速はロビンソン風速計 20 分間の平均値である．大阪のものは 21 日午前8時に之が破損した爲 8～9

1) 大森博吉氏　東京灣の津浪　土木學會誌　4卷2號　大正7年
　田村與吉氏　災後に於ける東京市河港應急施設　同上
2) 中央氣象臺　昭和9年9月颱風概報に依る

時の間は正確な数字は得られなかつたが前後より推定した値を破線にて示す.

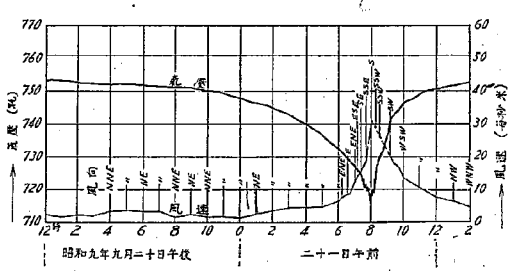
大阪府測候所に於けるダインス自記風壓計に依る瞬間風速は 60 m/秒 以上に上つてゐる.

今回觀測されたもの〻中 20 分間平均の風速の最大は室戸に於ける 45 m/秒 である.

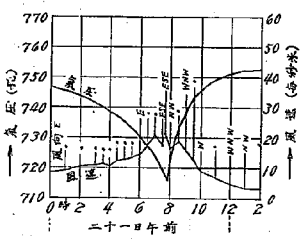
〔2〕 水位の上昇

（1） 檢潮儀記錄

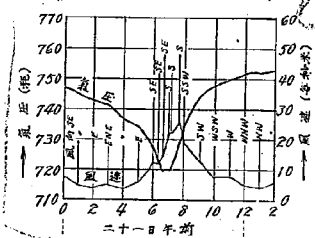
從來の多くの災害の場合と同樣今日の暴風津浪に於ても大阪港内及神戸港内にあつた檢潮儀は不幸にして破壞し，就中大阪港内のものは流失した爲全然記錄が得られず神戸港内のものは異常に高い水位の爲に午前 7 時 50 分以後の自記の記錄は得られなかつた．幸に内務省大阪及神戸兩土木出張所及兵庫縣土木部管轄の檢潮儀の多くは異狀なく各地の記錄が得られたから此等を何れも標準水位を大阪に於ける基準面 O.P.（東京灣中等潮位以下 1.046 m）に換算し時間の縮尺を同一にして第 6 及 7 圖に示す．第 6 圖は大阪灣附近各地のもの第 7 圖は



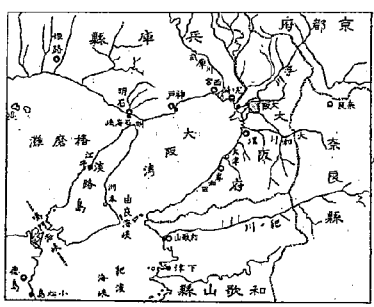
第 2 圖　府立大阪測候所に於ける氣壓，風速及風向．風速は 21 日 午前 8 時～9 時の間測定値がないから破線にて結ぶ



第 3 圖　兵庫縣神戸測候所の記錄



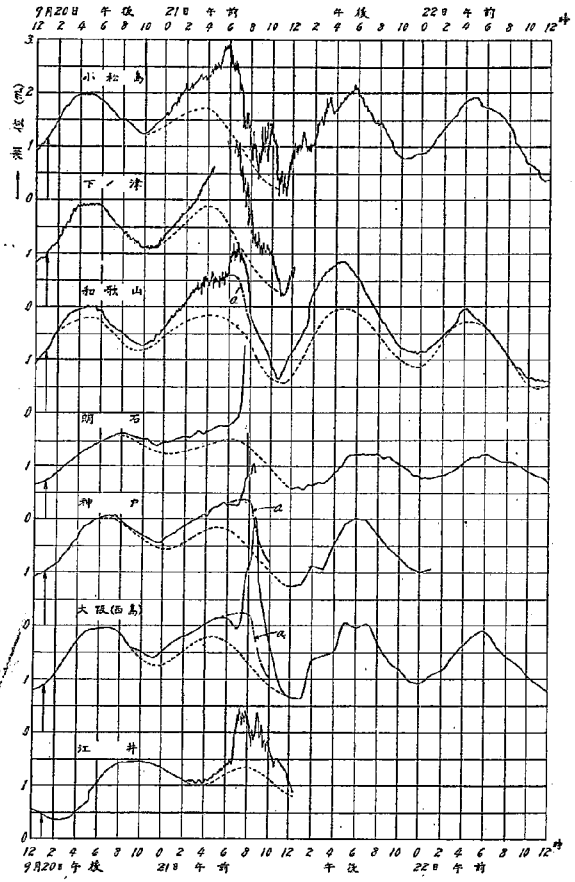
第 4 圖　和歌山測候所の記錄



第 5 圖　大阪灣附近檢潮儀位置

第　1　表

	最高潮位 (O.P.上)	潮位上昇	最高潮位を示した時間	最低氣壓が通過した時間	最低氣壓の示度(mm)
			午前 時 分		
小松島	2.90m	1.40m	5：40		
下津	3.10	1.80	—		
和歌山	3.20	1.60	6：50	時 分 6：40	719.4
則石	3.25	1.95	7：40		
神戸	3.64	2.20	7：50	7：50	716.0
大阪（西島）	4.03	2.85	8：40	7：55	715.8
江井(淡路島西側)	2.45	1.00	7：20		



第 6 圖
大阪灣附近に於ける檢潮儀記錄．この中大阪のみは量水標觀測

大阪市附近のものであつて第5圖及第8圖は夫々此等檢潮儀の位置を示す．

第5圖に於て大阪西島のものゝみは1時間毎の量水標觀測により最高の際はその時間を明かにする．

之に依つて見るに各地の最高潮位，通常潮位よりの潮位上昇及その時間は第1表の如くである．第1表中の潮位上昇とは津浪が最高潮位を示した時間に於ける通常の豫定潮位よりの上り高，即ち津浪の高さに相當する値である．

以上の結果の中大阪灣内に於けるものを綜合して各地に於て最高水位に達した時刻及通常のその時の潮位よりの上り高を第9圖に記入した．檢潮儀の設置がない場所に於ても相當に信賴し得べき報告を得た土地に於けるものをも同時に記入した．

（2） 水位の上昇に對する考察　颱風の襲來の際水位が上昇する原因としては

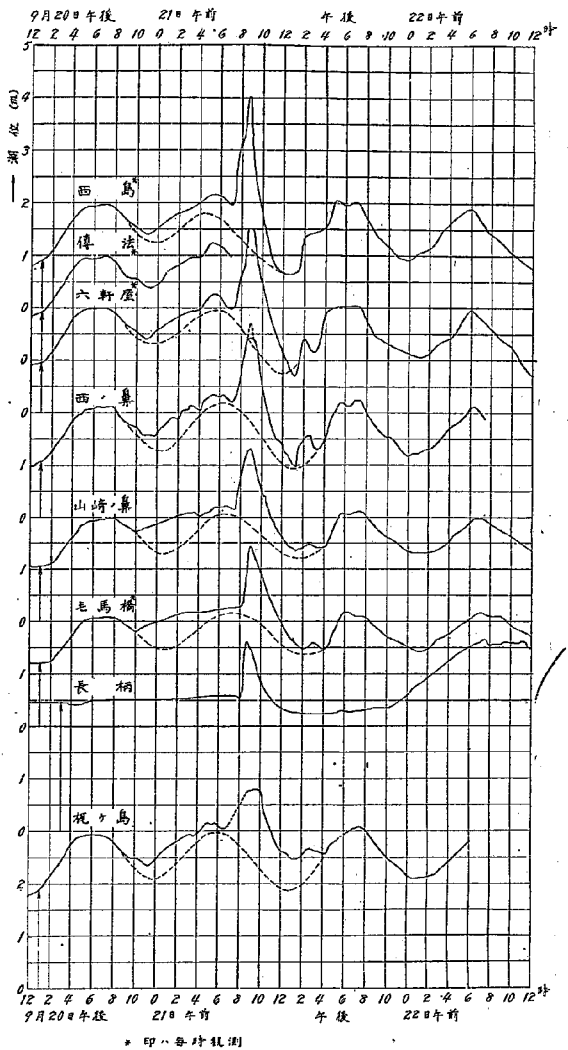
1. 氣壓の降下
2. 風による吹き寄せ
3. 灣のセイシに依る海面の振動
4. 暴風による津浪
5. 灣形，水深等の變化による水位の上昇

等が考へられ，特に海岸に面した構造物に於て水面が達する高さとしては波の衝突による跳ね上りの影響がある．前記檢潮儀の記錄では此跳ね上りは記錄されてゐないが附近の海に面した家屋の壁等に印された高さは之よりも高いのが普通である．即ち高知縣室戸海岸に於ては最高水位は當日の豫定潮

位より高き事約 4.1 m（中等潮位上約 +4.8 m）であるに拘らず浪の達した高さは當日の豫定潮位より高き事約 9.3 m（中等潮位上約 +10m）に及んでゐるが如きは最も著しい例である．

紀ノ川口に於ける内務省紀ノ川改修事務所の觀測に依れば海に直面した岸に於て浪が達した最高は内側に於ける檢潮儀記錄の最高水位よりも 3～4 m 高い．勿論大阪灣内に比しこれ等の海岸では波浪が大であつた事は檢潮儀記錄によるも明かであつて，この爲特に跳ね上りの影響が大であると考へる．

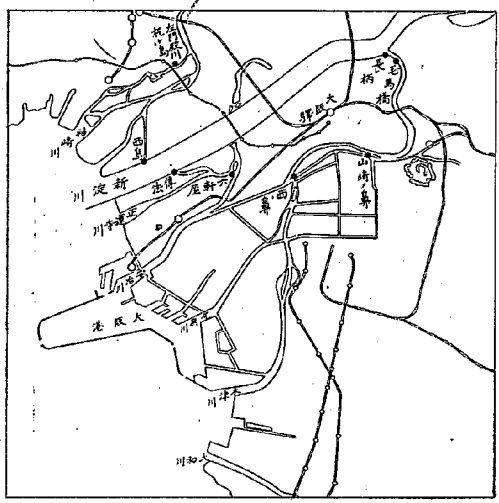
淡路島南方の沼島（第9圖參照）は最も被害の大であつた場所の一であるが，縣土木部の調査によれば同地の港の防波堤に於て浪が超へた高さが平均干潮面上 3.8 m 同じく福良の護岸を超へた高さが平均干潮面上 5.0 m となつてゐる．何れも跳ね上りの影響が入つてゐると考へるのが至當であらう．



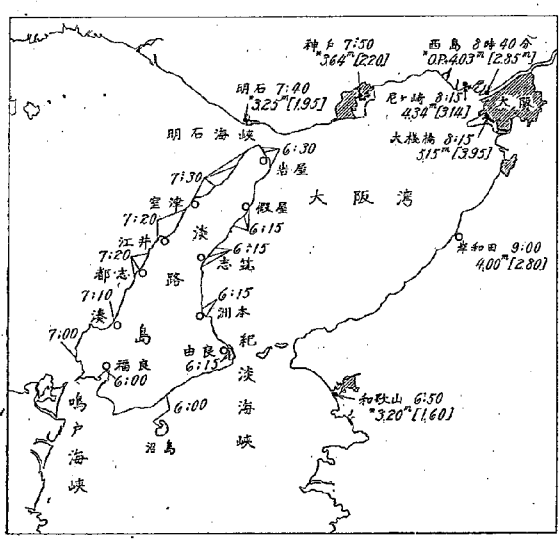
第 7 圖　大阪市附近檢潮儀記錄

氣壓の低下による上昇　24時間中の氣壓の降下は大阪に於ては 37 mm であるから靜力學的には，海水の比重を 1.03 とすれば 37×13.2＝58.1 cm の上昇は起り得る．又室戸に於ては氣壓低下は約 70 mm であるから 92.5 cm の上昇が起り得る．實際從來の我邦の觀測の結果によれば水面の上昇と氣壓低下量との比は略 13.2 に近い値が得られてゐる．[3] 然しこれは多く大洋中の小なる島

3）須田皖次　海洋科學　679 頁參照



第 8 圖　大阪市附近檢潮儀位置



第 9 圖　大阪灣附近各地に於て最高水位に達した時刻及潮位上昇

嶼による値であつて陸地により水位の上昇が束縛を受くる場合に此比が 7～20 位になり得るとの報告[3]もある．しかし此等の値から風による影響を除く事は極めて困難であつて我邦の從來の觀測の結果大森博士は此等を合せた値を第 2 表の如く示されてゐる．[4] 第 2 表中の備考欄に記した風速はその當時の標準によつたものであるが，その後風速に關する定義が變更された爲，例へば大正元年 9 月 23 日の大阪の風速は 20 分間平均風速にすれば 25.9 m/秒，大正 6 年の東京のものは 27.7 m/秒 となるのであつて今回のものとの比較にはこの値をとらねばならぬ．

この比が何れも前記 13.2 に比し非常に大で約 3 倍になつてゐるのは勿論風其他の影響の爲にもよるのであつて今日の大阪に於ける値に就て同樣の取扱をなせば

昭和 9 年 9 月 21 日大阪津浪	
氣壓降下	37 mm
水面の上昇	396 mm
比	107

となり從來のものに比し更に著しく大であつて靜力學的に考へた場合の約 8 倍になつてゐる．大阪に於ける今回の水位上昇は前記の諸種の原因の中主として氣壓の低下と風による吹き寄せとによると考へられる．依つて近似的に風の影響を除き氣壓低下のみによる水位上昇高を推定

4) 震災豫防調査報告 89 號

第　2　表

	(1) 氣壓降下	(2) 水面の上昇	(2)/(1) 比	備　考
明治44年6月19日大阪津浪	22.8mm	97cm	42.5	最大風速 31 m/秒 風向南西
大正元年9月23日　〃	41.7	167	40.0	〃 37 m/秒 西 西 南
明治44年7月26日東京津浪	25.4	130	51	風　速 31.4 南々東
大正6年10月1日　〃	41.3	161	39	〃 40.0 南

する爲に次の如き取扱をなす．卽ち大阪の例に就て見れば第 2 圖に於て午前 6 時には風向が北東であるがそれ以後は次第に東北東，東南東から南に變化してゐる．神戸に於ては（第 3 圖）同時刻までは風向が東となつてゐるから多少吹き寄せの影響があるがこの時刻の風速は左程大でないから割合に尠ないと考へ，この時刻までの氣壓降下と潮位上昇との關係を各地に就いて求むれば第3表の如くなる．氣壓降下と水位上昇との間には多少時間の相違がある筈であるが今は之を無視する．

第　3　表

	24 時間中の氣壓降下	潮　位　上　昇	潮位上昇と氣壓降下との比
大　阪	21.8mm	55cm	25.2
神　戸	22.9	55	24.0
和　歌　山	25.9	80	30.8

第3表の中和歌山は紀の川口に檢潮儀があり川の增水の影響を受けた事が比が大となつた一つの原因ではないかと思ふ．

風による影響を除き氣壓のみによる水位上昇量を示す前記の比が一定と考へこれ以後（午前6時以後）の水位曲線を描けば第 6 圖に鎖線 a にて示した如くなる．勿論之は氣壓降下の狀態及地形等に影響し，且つ時間のおくれもあるから同一の地點でもその時の狀態により上記の關係が常に成立つか否かに就ては尙研究を要するが今回のものに就ては近似的に上記の如く採り得ると思ふ．

風による水位上昇　今回の潮位上昇は氣壓の外は全部風に原因するとし，卽ち第 6 圖の鎖線 a よりの高さを風のみに依る上昇と考へその上昇高を算定すれば

第　4　表

	風による潮位上昇 (m)	最高水位の際の 風　速 v (m/秒)	最高水位の際の 風　向	v^2
大阪大棧橋附近	2.95	30.0	南々西	900
神戸築港	1.25	21.9	東南東	480
和歌山	0.50	14.4	南西	208

前表の最大風速時の風向は何れも各地の海岸線に略直角で海より陸に向つてゐるから其附近の海面を高めるに最も好都合の方向である．よつてこの方向の風に就て上の三つにつき風速 v (m/秒) と吹き寄せ潮位高 h (m) との關係を求むれば

$$h=0.00276\,v^2 \quad \cdots\cdots (1)$$

なる式を得る．勿論上記は僅か三ヶ所の測定値から推定に依つて得た關係であり而も各地の對岸距離等の事も考へないものであるから，將來尚多くの觀測値を得た場合には多少の修正を要する事と思ふ．尚上記 h は週期の短い波浪の頂の高さでなく暴風による潮位上昇高を求めたものである．

灣の靜振　大阪灣の靜振の週期は（1）長さの方向に於て 118′（2）幅の方向 69′ と計算され（海洋氣象臺日高博士に依る），（1）に對する當時の觀測により大阪に於て振幅約 10cm（2）は堺に於て僅に痕跡を認め得る程度である．

今回の高潮に靜振の影響が尠い事は非常に高い水位が一回限りでその後に現はれてゐない事によつて立證される．大阪西島の記錄に就いて見れば高潮の後，午後 5 時頃以後に靜振の週期 118′ に近いものがある．

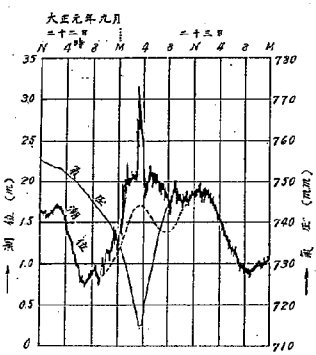
大阪及神戸に於て午前 6 時から 7 時の間に水位が一時降つてゐるのは灣内の他の場所即ち淡路島沿岸の水位が上つた爲と解釋する事が出來る．

第 6 圖に於て小松島，下津，和歌山に於ける高潮の際の小週期の振動は附近小灣の靜振に依るものと解される．

暴風に依る波浪　今日の高潮の際には週期の短い波浪は尠なかつた樣である．即ち尼ヶ崎市海岸埋立地に繫留した尼ヶ崎築港株式會社の所有のポンプ浚渫船の船長及曳船々長の觀測を綜合するに高潮は約 2m の層をなして陸に向つて進行しこの時は風は東南で波はなく其後風が西南に變つた時（9 時 30 分頃から）高さ約 1m の波が立つた樣である．

大阪に於ても高潮の際には防波堤はこの波浪に對し非常に有効に働いたとは考へられないに拘らず港内では波は割合に小であつた樣である．

灣形，水深等の變化による水位の上昇　Green 氏の法則によれば重力波は水深が小なると共に，又波の進行する方向に直角な水路の幅が小なると共に高さが大となるのであつて，大阪の如く灣内の波が同地に集中する如き位置にある場合に特に水位が高くなる事は當然の事であつて今回の事實と合致する．即ち大阪は波に對し最も條件の惡い位置にあると言はなければならない．



第 10 圖　大正元年 9 月 23 日の大阪に於ける暴風津浪の築港内に於ける檢潮儀記錄

從來の津浪との比較　大阪に於ける近年の津浪としては既記の如く明治 44 年及大正元年の兩度のものを擧ける事が出來る．その中大正元年のものは大阪築港に於ける檢潮儀記錄があるから[5] 之を今回のものと比較の爲第 10 圖に示した．此の時の颱風の經路は今回のものと類似し大阪に於ける低氣壓の示度も略今回のものと同樣であるに拘らず潮位は著しく低く實際の潮位上昇は 1.67 m と記されてゐる．

此の時の風速は大阪に於て 25.9 m/秒 風向南西となつてゐるから風による吹き寄せは今回のものより小なるは當然

5）震災豫防調査報告第 89 號　大森博士による

であるが，今回のものに就て示した算式(1)及氣壓による上昇比（第3表參照）による水位よりも著しく小であつて，この不一致は尙考究を要する問題である．

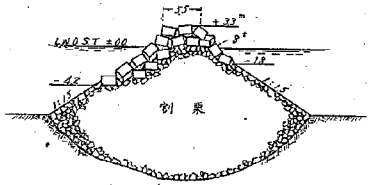
安政元年11月5日の地震による津浪はその震源は，東經 134°30′ 北緯 32°40′ の室戸崎の南 30° 東の約 80 km の距離にあるものと推定されてゐるが此時の津浪は安治川に於ては船舶を船津橋まで押上げ，道頓堀川及長堀川の多くの橋梁が舟の爲破損したとあり，今日の津浪にては船津橋に於ては潮位上昇 2 m に及び道頓堀はその下流にある岩崎橋，大正橋等の堅固なる橋梁に支へられて，その下流は漂流船舶で川が埋め盡された狀態であつた事から推して，若し昔日の如き木橋であつたならば道頓堀附近へ押上げた船は夥しい數に上つた事と推察される．當時海岸には運河を堀鑿した土を盛つた丘陵天保山があつて，そこの天保山雨組小屋は床下 5 寸の浸水があつたとの記事が殘されてゐるが，これが果して現在の O.P. 上何程なるかを推察する資料なき爲當時の築港附近の浪の高さを知るに由ない．しかし前記の狀況より推定するに大阪に於ては今回の津浪と安政の津浪との間には浪の高さに於ても，流れの强さに於ても著しい差がなかつた樣に推察される．大阪灣外の和歌山縣及德島縣に於ては安政のもの>方が遙かに大であつた事は勿論である．

神戸港に於て明治 33 年以降觀測したる最高潮位は大正 13 年 9 月 12 日の O.P.+2.54 m であつて今回の O.P.+3.64 m は之に比し 1 m 以上高い．大阪に津浪を起した明治 44 年及大正元年のものは神戸に於ては上記水位より小である．

〔3〕 港灣工作物の被害

(1) 防波堤　外海からの浪に對し第一線に立つ防波堤に大なる力が働く事は勿論であるが，今回の津浪に於て各地の防波堤が受けた被害及之より推定した浪の力に就て簡單な考察を試みる．

大阪港　南北兩防波堤の中地形の關係上主として南防波堤の被害が大であつた．南防波堤は第 11 圖に示す如き斷面を有し混凝土方塊の大きさ 1.21×1.51×1.82 m の重量一個 7.65t のものを割栗の捨石の上部に捨ブロックしたものであるが，上部ブロックが滑り落ちて第 12 圖の如き狀態となつた．

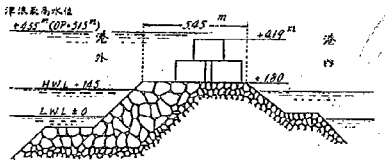


第 11 圖　大阪港南防波堤斷面

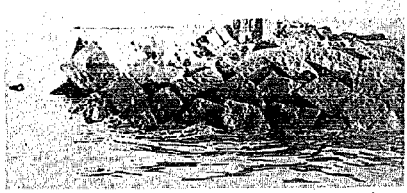
又，第 13 圖の如き斷面を有する內港防波堤の上部混凝土方塊は浪の爲に多く轉落して第 14 圖の如き狀態となつた．

第 12 圖　津浪後の南防波堤（9 月 27 日撮）

此等の防波堤は津



第 13 圖　内港防波堤斷面



第 14 圖　津浪後の内港防波堤（9月27日撮）
頭部混凝土方塊の轉落。向つて左方が港内

浪の際は何れも水面以下に沒した爲浮力が働き之を轉落せしむるに必要な力は次式に依り算定される。　$P=W'\tan\varphi$

茲に　P＝方塊に作用する水平力

W'＝方塊の水中に於ける重量　　φ＝方塊間の摩擦角 $\tan\varphi=0.7$ とする。

卽ち　$P=pA=4.32\times0.7$

茲に　p＝水平壓力强度　$A=p$ の作用する面積＝$1.5\times1.82=2.75\ \mathrm{m}^2$　$p=1.1\ \mathrm{t/m}^2$

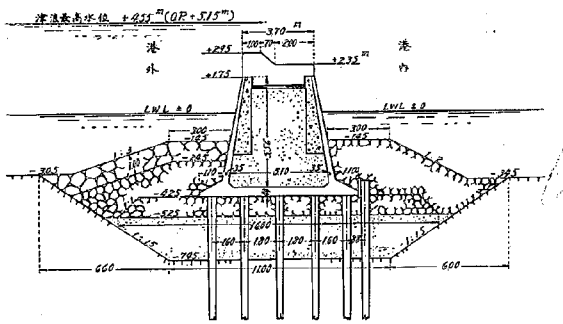
卽ち方塊を轉落せしむるには尠くともこれ丈の力を要する。

既記の如く波は大阪附近に於ては今回の最高潮時に於ては割合に小であつた様であるが，その高潮の襲來が約 2m の層をなし（暴風による波浪の項參照）進行の速さは陸上の各地に於ける觀測を綜合するに約 2～3m秒 であつたやうである。水の水平分子の動きは碎波の狀態にて押進む場合は波の進行速度と略同様であるから之が構造物に衝突した場合作用する力は近似的に $p=0.2v^2$ にて表はされるとし

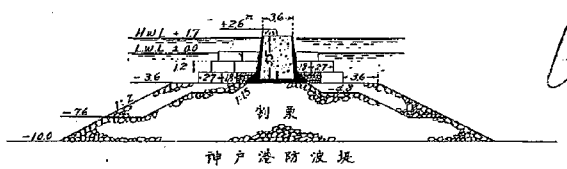
$v=2.5$m/秒　とすれば

$p=1.25$t/m²

となり，前記の p より大となる。



第 15 圖　木津川口新防波堤斷面。津浪による被害はない



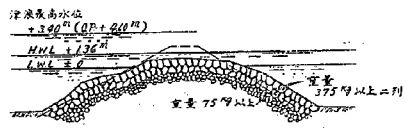
神戸港防波堤

第 16 圖　神戸港南防波堤斷面・津浪により頭部が約 15 cm 港内へ移動した

大阪木津川尻の第 15 圖の如き防波堤は何等の被害を受けなかつたが，之は基礎も十分堅固であつた爲沈下の虞もなく被害を受けなかつたのは當然の事である。

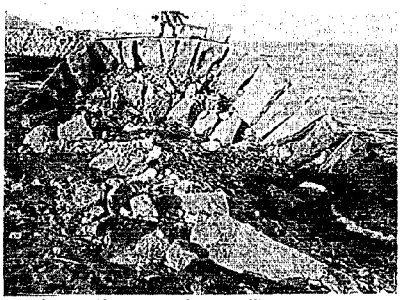
神戸港　第 16 圖の如き南防波堤が今回の津浪によつて頭部が港内側へ約 0.15m 移動したと報告された。今根固めの混凝土方塊を無視して中央部混凝土潛函に水平力が働いた場合之を水平に移

動せしめるに必要な力は高さ全體に對し平均4.55 t/m² を要する．實際に此の如き大なる力が働いたとは考へ難いから，頭部に於ける變位は大阪港に就て算出した程度の力が加はつた爲の基礎の沈下が原因ではないかと推定される．



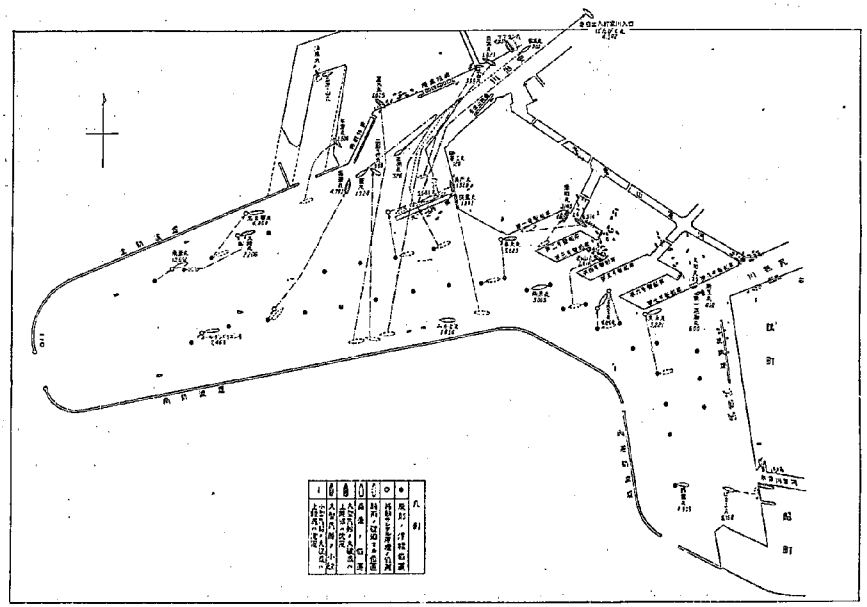
第 17 圖　大阪府岸和田市築港防波堤の津浪後の狀態，鎖線は津浪前の形を示す

其他　大阪府岸和田市築港にては海岸より北々東に向つて長さ約 360 m 斷面第 17 圖の如き捨石の防波堤があり之は上部 2 列は重量 375kg 以上の石を使用しその內部は 75 kg 以上の石を使用したのであるが波の爲上部の捨石が動かされ，形は第 17 圖の如くなり堤の先端部に於て約 1.3 m 沈下した．之は大阪港の防波堤の方塊移動と同樣に，津浪に依つては容易に起り得べき現象である．

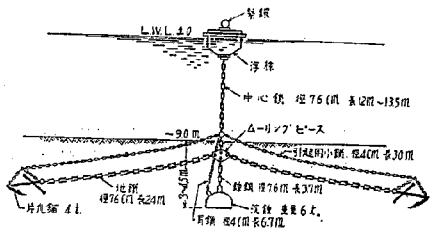


第 18 圖　淡路島東岸鷺日村防波堤の一部決潰せる部分

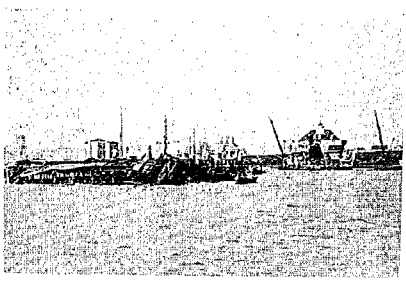
第 18 圖は淡路島の東岸鷺田村の防波堤が今回の津浪により一部分破壞された狀態を示したものであるが全長 400 m の中約 17 m 程破壞されたのみで，他の部分は何等の移動もなかつた．これは

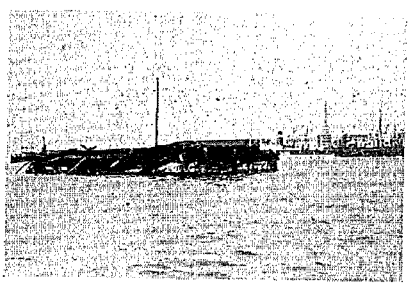


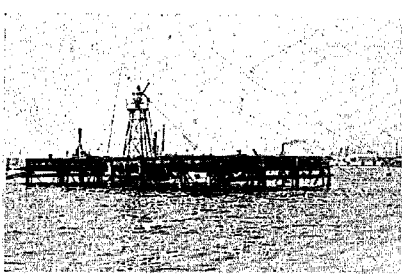
第 19 圖　大阪港內に於ける船舶移動の狀態，災害直後の見取圖



第 20 圖　大阪港内繋船浮標の構造







第 21 圖　大阪港大桟橋の災後の狀態（9 月 27 日撮）
（上）根本部　（中）中央部　（下）頭部

文化年間（1815 年頃）の築造と稱せられ，容積ではあるが，十分に目潰を行つた間知積で石の大きさは表面のものが 100 kg 程度と推定されるが入念に施工された爲に大なる抵抗を示した．

（2）繋船浮標及繋船岸　大阪港内に於て被害が著しかつた一つの原因は港内の繋船浮標或は繋船岸に繋留された本船及艀船が移動して構造物に衝突して與へた事によるものである．大阪市港灣部調査にかゝる當日の船舶の移動狀況は第 19 圖に示す通りであつて當時灣内には 30 隻の本船が繋留してあつたがこの中原位置に止つたものは僅に 4 隻であつた．當日港内の繋船浮標を使用してゐた本船 13 隻の中 9 隻は何れも繋船浮標と共に移動し 2 隻は繋船索切斷の爲本船のみが移動，2 隻だけが繋船の儘原位置に止まつた．

大阪港に於ける繋船浮標の構造は第 20 圖の如く 6 t の沈錘の外に 4 t の片爪錨 2 個を使用してゐる．浮標と共に流された船の中，小なるは 3000 噸程度のものがあり，大部分の船は船首のみを繋留してゐたから船は風に對し最も抵抗の勝い方向に向けられてゐたと解せられる．依つて風速 30m の場合に風に直角な面に作用する力を 125 kg/m² として船が受ける力を概算するに總噸數 3000 噸の船に對しては 30 m の風速の場合に滿船及空船の場合に對して夫々 3 t 乃至 10 t の力が作用する事となる．概算によれば第 20 圖の繋船浮標は約 20 t の鉛直力には堪え得るから浮標の中心鎖乃至繋船索が水平と 45° 位の角をなす場合には浮標の沈錘及片爪錨により上記の力には充分堪え得る筈である．從つて浮標が船と共に移動するに至つた主なる原因は水位の上昇にあると考へられる．水位の上昇と共に浮標の中心鎖の長さの餘裕はなくなり，加ふるに暴風の際とて船の繋船索も充分に緊張し，風の息による衝撃の爲本船に働く

浮力の僅かなる一部分にても之に作用すれば容易に碇着力を失ひ本船と共に漂流するに至る.

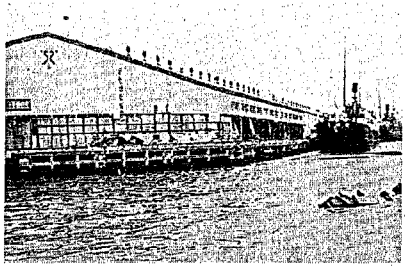
繋船岸壁に繋留中の船は大阪港内には 6 隻あつたが全部漂流，神戸港には 15 隻繋船中のものが 7 隻繋船索が切断した．浮標の場合と異り風向に對し自由に方向を變へる事が出來ないから最惡の場合浮標繋留に比し約 10 倍の風壓が働く．卽ち風壓のみにても繋留索に非常に大なる張力が加はり加之前記水位上昇による浮力の增加があつて繋船索の切断は容易に起り得る.

神戸港の海岸通内國貿易突堤の浮棧橋 16 個の中 4 個は沈沒 5 個は損傷を受けたが，之は水位の上昇の際岸壁頂部に鐵筋混凝土造浮函の底が打ちつけて傷められた事に依る様である.

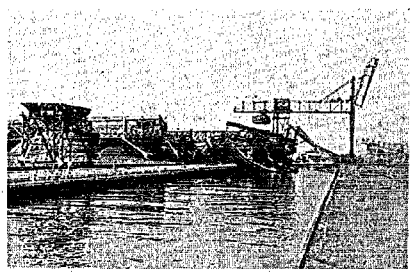
繋船岸夫自身の損害は之等漂流船舶及木材等による破損であつて割合に輕微であるが，大阪港の大棧橋は漂流船が高潮の際その上を乘り超えて漂流した爲に棧橋の鐵柱が倒れて著しい被害を受け水面上に殘つた部分は全長の約 $\frac{1}{3}$ となつた(第 21 圖參照).

尙大阪市港灣部調査による小型のものを合せた遭難破損船舶は合計 3200 隻以上に及ぶ.

(3) 陸上設備　大阪及神戸兩港に於ては埋立地の高さは O.P. +3～3.50m であるから浸水深は 1.65～2.15m 神戸に於ては O.P. +3.45m であるから浸水深約 0.20m となる．上屋倉庫等が，この爲に在庫品と共に被害を受けた事は勿論であるが，之に就ても漂流物による被害が最も著しかつた様である．第 22 圖は大阪港の上屋外壁の被害狀況である.

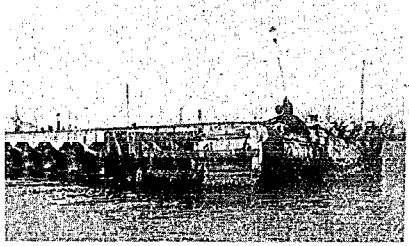


第 22 圖　大阪港第 7 號繋船岸上屋壁鐵骨にモルタルスレートを張つた構造であつたがスレートは漂流物の爲に寫眞の如く破壞して落ちた(9 月 27 日撮)



第 23 圖　大阪港梅町棧橋附近のトランスポータークレーンの崩壞(9 月 27 日撮)．漂流解船による被害と推定される

第 24 圖　大阪港稅關監視部前の物揚場斜面の崩壞(9 月 27 日撮)



第 25 圖　梅町棧橋頭部の漂流船舶による破損(9 月 27 日撮)

第 23 圖は大阪港内に於ける被害であるが之も明に漂流舟艇の衝突による被害であつて直接風壓の爲に倒壞したものは尠い樣に思はれる．第 24 及 25 圖も漂流物による被害の他の例である．

（4） **その他** 以上の外に土木工事として道路鋪裝，上下水道等に對する被害が大であるが，此等に就ては別に調査を行はなかつた爲玆に記す事の出來ないのを遺憾に思ふ．

III 被害輕減に對する施設

以上は大阪を中心とした沿岸地方の土木工事就中港灣に關する被害であるが，此等の地區に於ける被害は土木工事に關する限り風に因るものは割合に少なく主として異常の高潮に原因するものである．高潮は第 II 章に述べた如く，主として氣壓と風とによつて起されたものであつて，必ずしも極めて異常なる現象ではなく，將來に於ても之を豫想しなければならない．而も之は當に大阪のみの問題ではなく地形が類似の狀態にある東京，名古屋等に於ても同樣であつて地震による津浪の警戒を怠る事が出來ない點に於ても全く同樣である．以下は主として大阪を對象とする防備施設に就て私見を述べたものであるが上記他の都市にも適用出來る事が多いと思ふ．

暴風津浪に對する施設は，多くは地震津浪に對しても有效であるが，地震津浪は地震動の數時間後に襲來するものであるから之等構造物に相當の破壞力が働いて後に津浪が襲來する事に注意を拂はなければならぬ．

將來の津浪の高さ 大阪に午前 8 時頃に襲來した今回の津浪が，同じ狀態で午前 5 時頃に襲來したならば，大阪に於ける最高水位は尙約 0.60m は高く．又當日は月齡 13 であつたが，之が月齡 15 乃至 17 であつたならば更に約 0.20m は高くなつた事と思ふ．卽ち最惡の場合大阪築港に於ては約 O.P.＋6.00m の津浪の最高水位を豫想しなければならぬ．

安政元年 11 月 5 日の地震津浪は午後 8 時頃に大阪に襲來したのであるが，この日の滿潮時は午後 9 時 40 分頃と推定され，當日小潮なる事より推定して大潮の最高潮位時に於けるよりも約 0.60m 低い．颱風の經路は今回のものは大阪に對しては最も惡い狀態にあり又安政地震も大阪に對し最も惡い箇所の地震に原因する事から考へ，將來の防備施設に對し考慮すべき水位は上記兩度の程度のものが最も條件の惡い日時に發生したと考へたものを標準として差支へないかと思ふ．卽ち大阪築港に於て豫期すべき水位は O.P.＋6.00 m 六軒屋川左岸以東に於て之に相當する水位は約 O.P.＋4.45 m 神戸築港に於て O.P.＋4.45m となる．

防波堤 海岸に近い位置にある防波堤が津浪の災害輕減に有效である事は今回の暴風津浪によつても明に示された．實驗の結果[6]に依るも大阪，神戸の現在のもの＞如く岸に接して置かれた防波堤は相當に有效である．水深が大なる場所に防波堤を設ける事の不利は實驗の結果から結論したのであつて，津浪防禦のみから言へば成可く岸に接近しておく方が有利である．之に働く水平力は相當に大であり殊に地震津浪に於ては特に大[7]であるから成可く小型方塊積の如き構造を避け，混凝土潛函の如き大型のものを置く樣にしなければならぬ．

6） 土木試驗所報告 27 號 津浪の災害輕減に關する模型試驗參照
7） 土木試驗所報告 24 號 三陸津浪調査報告 106 頁參照

地震津浪に對して大阪の如き軟弱地盤では地震の爲防波堤が著しく沈下し，これにつゞいて襲來する津浪の際その用をなさない事のない様に地盤に對する施工に特に注意を要する．其水面上の高さは或程度高い程有效であるから工費竝びに施工上，事情の許す限り高くする事が望ましい．防波堤に作用する水平力は暴風の場合には第 II 章 (3) に述べた如く $p=1.25\text{t/m}^2$ 程度地震津浪の時は之より大である．

三陸津浪の際八戸防波堤に於て測定した水平壓力は 3.92t/m^2 となり，同地の浸水高さは平均水面上 3.2m であつて安政の地震津浪の大阪に於ける高さと似てゐる．しかし大阪に襲來する地震津浪は紀淡海峽の爲勢が著しく弱められるから之より小である様に考へられる．

護岸，防水門等　防波堤によつて水の浸入を止める事は出來ないから，海岸に沿ふて擁壁を築造する事が必要であるが大阪，神戸の如き港灣地帶に於て一様に之を實現する事は困難である．岸壁上にある上屋の壁及扉を水の力に耐える構造とし，建物の間には門扉を設けて，非常の場合には之を閉鎖する様にすれば割合に經濟的に上記の目的を達し得ると思ふ．地震津浪は勿論暴風津浪に於ても大阪，神戸等に於ては約 1 時間前には之を豫知する事が出來るからこの扉の操作は困難ではない．

大阪の如く河川の多い土地では之に侵入する水を止める事は河口に特にその爲の開閉門扉を築造する外はないが經濟的に之が實現が出來ないとすれば河沿ひの各工場等に於て周圍に壁を圍らし，各入口には防水門扉を設けその地域に水が浸入しない様にする外はない．この場合壁に働く力は漂流物に依る力を別とすれば暴風津浪防波堤内では，餘り大でなく，又水壓を受ける時間は短いから基礎に注意すれば之に耐える様に設計する事は左程困難でないと思ふ．西宮市の海岸に於ける一邸宅が周圍の混凝土塀の爲に附近の家屋に於ては甚だしい災害を受けたに拘らず，この家屋のみが災害を免れた事は注意すべき一例である．此の家では水は海側の塀の門から侵入したが入口が狹い爲に妨げられ水が塀内に入りきらない中に，退き初めた爲周圍の家に比し浸水の程度が著しく低かつた．

津浪に對し警戒すべき水位は大阪築港附近に於て O.P.+6.00m その他の市内に於ては之よりも小なる事は既に述べた通りであるが，止むを得ない場合には之より低くとも溢流によつて壁が破壞しない限り相當に有效である．

土堤によつて水の侵入を防ぐ場合にその上を溢流する事のないだけの高さにする事が最も大切であつて，暴風津浪に對しては極めて有效であるが，地震津浪に對しては築堤の土質には特に留意し，破堤に對し警戒しなければならぬ．相當の斷面を有する土の配合よき堤は津浪による破堤は溢流の時の外は割合に少い様に思ふ．

避難地區，道路　浸水の危險ある地區内に所々の避難地として高く盛土した地區を設ける事，特に海岸線に直角な高架避難道路或は鐵道等を設け道路は常時には高速自動車用となし非常の場合に避難の用に供する事は極めて大切な事と思ふ．此等構造物を充分耐震的に築造しなければならない事は勿論である．

船舶其他の繫留設備　今回の暴風津浪が上述構造物に與へた被害は主として船舶，木材その他の漂流物に因る事は既に述べた通りであるから此等を安定に繫留する事は何れの側よりするも極めて大切な事である．

繫船浮標の船舶と共に移動した事の原因は主として水位の上昇によるものと考へられるから(第 II

章(2)及(3)參照) 繫船索に適當な調節裝置を考案し，ある限度以上の張力が働いた時索が延びる樣にすれば船舶の漂流は避け得られるのではないかと思ふ.

岸壁に繫留した船舶は風向によつては相當に大なる風壓を受けるから繫留索は充分にし且つ前記の如き調節裝置を設ければ索の切斷による漂流は避け得られると思ふ.

解船等の繫留に就ても同じ事が云はれる．木材置場の位置の選定には十二分の考慮を拂はなければならない事は今回の災害經驗により明にされたが，更に其周圍には漂流を防ぐ十分高い堤防或は壁を設ける必要があると思ふ.

土木試験所出版圖書

報告

第一號	路面及勾配が馬車運送に及ぼす影響に就ての研究中間報告．瀝青質材料竝瀝青質混合物に關する研究第一報	大正十四年三月發行
第二號	瀝青質材料針度に就て	大正十五年一月發行
第三號	「ヴイアログ」に依る路面凹凸測定．瀝青混合物に關する研究．「アスファルト」合材混合の際に於ける「アスファルト」の粘度に就て	同　二月發行
*第四號	急硬セメントに關する試驗報告	同　五月發行
*第五號	簡易鋪裝に關する試驗報告	昭和二年三月發行
*第六號	混凝土及鐵筋混凝土抗拙力試驗報告	同　五月發行
*第七號	八幡製鐵所副產部製品，瀝青質材料，瀝青質鋪裝，「セメント」類及邵發油に對する「アスファルト」の可溶率等に關する試驗成績	同　七月發行
*第八號	瀝青質材料標準試驗方法．　石材類標準試驗方法	同　十月發行
*第九號	急硬性「セメント」に關する試驗．「ソリデチット」の耐壓强度に關する試驗．「ブロック」に關する試驗．高知縣黑瀧川產砂に關する試驗．多摩川產砂利及砂に關する調查．石材類試驗成績	同　十一月發行
*第十號	路面構造の運輸經濟に及ぼす影響に就て（第一）道路橋振動試驗	昭和三年三月發行
*第十一號	瀝青滲透ブロック試驗成績．鋪裝工事用サーフエス・ヒーターの碎石に及ぼす影響に關する試驗．常願寺川產砂に關する試驗	同　七月發行
*第十二號	アスファルト・ブロック試驗成績．各種アスファルト・ブロック比較試驗成績．石油アスファルトとコール・タール・ピッチとの混合物に關する試驗．瓦斯瓦及戰炭瓦タール及ピッチに關する試驗成績．コール・タール・ピッチ中の純瀝青に就て．大氣中に於けるアスファルト・セメントの變化．石炭瓦斯のアスファルト・セメントに及ぼす影響．標準砂モルタルの强度に及ぼす火山灰及石粉の影響	昭和四年一月發行
第十三號	ポートランドセメント混凝土鋪裝の磨耗試驗．橋梁用敷板强度試驗．薔薇橋鐵材の腐蝕に關する調查．鋪裝用鑄鐵ブロック磨耗試驗	同　五月發行
*第十四號	瀝青乳劑及ピチユマルス鋪裝に關する試驗．瀝青滲透ブロックに關する試驗．瀝青質材料の滲透性に關する試驗．瀝青質材料の粘度及膨脹係數に關する試驗	同　十二月發行
*第十五號	北上川陸開式轉動堰模型試驗．電氣鎔接法による鐵筋の接合．現場打混凝土の耐壓試驗報告	昭和五年二月發行
*第十六號	路面の構造の運輸經濟に及ぼす影響に就て（第二）．瀝青滲透ブロック鋪裝試驗．工事用石材試驗成績	同　五月發行
*第十七號	路面構造の運輸經濟に及ぼす影響に就て（第三）	同　五月發行

*第十八號	混凝土鋪裝の粗骨材別磨耗比較試驗．鋪裝混凝土工に及ぼす氣象作用の影響竝に之に應ずる設計及工法に就て(一)．鬼怒川上流改修工事用角礫混凝灰岩砂利及砂に關する試驗．鐵筋混凝土道路橋設計資料．各種土木工事用材料試驗成績	昭和五年十月發行
*第十九號	路面構造の運輸經濟に及ぼす影響竝に之に基く道路設計の基本に關する研究（第四）	同　十一月發行
第二十號	東京山手赤土の彈性的性質に關する試驗(一)．基礎の沈下量算定法(一)．岩淵水門に關する水理試驗．單鉸拱橋模型試驗．國道鐵筋混凝土丁桁橋標準設計案	昭和六年六月發行
第二十一號	背水曲線の一般的解法．單鉸拱の振動に關する理論竝に實驗混凝土鋪裝の縫目に關する試驗．河水のポルトランド・セメントに及ぼす影響．標準砂モルタルの强度に及ぼす石粉の影響．瀝靑乳劑試驗成績	同　十二月發行
第二十二號	地震時土壓の實驗的研究．混凝土鋪裝縫目用エラスタイト試驗．高田馬場試驗鋪裝の路床土質に關する試驗．基礎の沈下量算定法(第二)．新土壓計算圖表．	昭和七年五月發行
第二十三號	簡易鋪裝に關する實地比較試驗．鋼矢板試驗．大和川筋魚ノ瀨地辷に關する調査(第一)	同　七月發行
第二十四號	道路の背向曲線の設計に就て．胴柱に關する試驗．乳劑の粘度に就て．府縣道鐵筋コンクリート丁桁橋標準設計案．碎石の磨損率に關する一試驗．三陸津浪調査報告．本邦產鋪裝用石材(附錄)．	昭和八年六月發行
第二十五號	本邦鋪裝用タールの性質に就て．横溢流堤流量試驗．擁壁の安定增大に關する一提案及之に關する試驗．砂利層の支持力に關する試驗（第一報）．鋼矢板試驗（續）．エタニツト・パイプ試驗．	同　十一月發行
第二十六號	地震に因る動水壓を考慮せる重力堰堤の斷面決定法．田中村調節池溢流堤に關する水理試驗．瀝靑鋪裝切取試驗體の性質．道路鋪裝用瀝靑乳劑の性狀に關する基本的研究(第1報)．自動車の路面に及ぼす衝擊に關する研究(其一)	昭和九年三月發行
第二十七號	道路用骨材の性質に及ぼす粒子形狀の影響に就て．津浪の災害輕減に關する模型試驗．津浪の變形の理論．三陸津浪調査報告(追加)．自動車の路面に及ぼす衝擊に關する研究(其の二)．瀝靑透入マカダムに關する試驗(第一報)	同　六月發行
第二十八號	地震動による土堰堤の變形．鋒靑銅引張試驗用小型試片．國產瀝靑乳劑試驗成績．骨材及び類似材料の靱性に關する研究．鐵筋コンクリート無鉸拱の經濟的竝に耐震的設計 (1)	同　十月發行

其他

本邦道路橋輯覽	大正十四年十二月發行
本邦道路橋輯覽（增補）	昭和三年三月發行
第六回國際道路會議に關する報告書	昭和七年四月發行
土木工事用材料標準試驗方法	昭和七年十二月發行

（*印は殘部なし）

昭和九年十二月二十四日　印刷
昭和九年十二月二十七日　發行

内務省土木試驗所
東京市本郷區駒込上富士前町二十六番地
電話大塚(86)自3101番至3103番
印刷者　守岡功
東京市本所區厩橋一丁目二十七番地ノ二
印刷所　凸版印刷株式會社本所分工場
東京市本所區厩橋一丁目二十七番地ノ二